www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

11e JAARGANG No. 1, blz. 1-32 JANUARI 1949

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: LABORATORIUM VOOR WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

PLASTICA EN HUN TOEPASSING IN DE ELECTROTECHNISCHE INDUSTRIE

door J. C. DERKSEN en M. STEL.

679.56:679.57

Plastica of „plastics" is voor vrijwel iedereen een vertrouwd woord geworden, nu ook modeartikelen en voorwerpen voor huishoudelijk gebruik uit deze stoffen vervaardigd worden. In de electrotechnische industrie is het gebruik ervan al meer dan 20 jaren geleden begonnen, maar ook op dit terrein heeft de snelle ontwikkeling van de laatste jaren allerlei nieuwe mogelijkheden geschapen.

Kenmerkend voor alle plastica is hun opbouw uit macromoleculen, die elk uit zeer vele atomen bestaan, en door een zich telkens herhalende chemische binding uit gewone, veel eenvoudiger moleculen worden gevormd. Daar de keuze der uitgangsstoffen zeer gevarieerd is, is de grote verscheidenheid, die men bij plastica en hun eigenschappen aantreft, niet verwonderlijk.

Sinds het begin der negentiende eeuw hebben de scheikundigen tal van nieuwe grondstoffen ontwikkeld ten behoeve van de industrie en de maatschappij. Uit natuurrubber werd door een chemische behandeling met zwavel de zg. gevulcaniseerde rubber vervaardigd, een product met technisch betere eigenschappen. Uit plantenvezels werd de cellulose geïsoleerd, die door behandeling met salpeterzuur werd omgezet in nitrocellulose. Deze stof (celluloid) verving veelal het ivoor, de kunstzijde verdrong grotendeels de natuurzijde, uit caseïne werd kunsthoorn vervaardigd.

De laatste twintig jaren verliep deze ontwikkeling stormachtig. De kunststoffenindustrie breidde zich uit in een zeer snel tempo. Zij kwam daarbij echter in een nieuw stadium van haar ontwikkeling. Vroeger trachtte zij stoffen die in de natuur voorkomen te imiteren. Thans bereidt zij in vele gevallen synthetisch stoffen met bijzondere eigenschappen, waarvan het analogon in de natuur niet wordt gevonden en die daarom beter niet van het praedicaat „kunst" voorzien kunnen worden. „Philite" en organisch glas zijn er voorbeelden van. In de Engels sprekende landen heeft men een speciale naam voor al deze stoffen, nl. plastics. In overeenstemming hiermede gebruikt men tegenwoordig in het Nederlands de benaming plastica. Daaronder verstaan we materialen waarvan het voornaamste bestanddeel een macromoleculaire, gewoonlijk organische stof is en die in enig stadium van de verwerking ofwel plastisch (vormbaar) ofwel vloeibaar (gietbaar) zijn en in een later stadium in de vaste toestand overgaan.

Op nagenoeg ieder gebied komen wij tegenwoordig in aanraking met voorwerpen die uit plastica als grondstof zijn vervaardigd. Ook in de electrotechniek spelen deze materialen een belangrijke rol. De ontwikkeling van de radio, de televisie en de radar — om slechts een paar voorbeelden te noemen — zou zeker niet mogelijk zijn geweest op de wijze zoals wij die hebben beleefd, indien men niet over plastica als grondstoffen de beschikking had gehad.

Dat de electrotechnische industrie zo gaarne gebruik maakt van plastica, moet in de eerste plaats daaraan worden toegeschreven, dat de meeste van deze materialen zulke goede electrische eigenschappen hebben, als daar zijn: hoge doorslagspanning, kleine diëlectrische verliezen en grote kruipstroombestandheid [1]). Polystyreen en polyaetheen bijv. hebben zeer geringe diëlectrische verliezen. Persmassa's van ureum-formaldehyde zijn zeer goed bestand tegen kruipstromen.

Toch kunnen deze gunstige electrische eigen-

[1]) Met dit laatste bedoelen we, dat de stof slechts weinig heeft te lijden van ontladingen die plaatsgrijpen tussen op het oppervlak geplaatste electroden, vooral als het oppervlak min of meer met een electrolyt is bedekt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

schappen niet de enige reden zijn, want andere materialen, zoals porselein en mica, bezitten deze evenzeer. Er is nog een andere eigenschap die de plastica aantrekkelijk maakt en daarin munten zij uit boven de zo juist genoemde grondstoffen. Deze is boven reeds terloops genoemd, het is hun gemakkelijke vormbaarheid. De electrotechniek is een industrie van massaproductie. De verwerkingstechniek van de plastica is hiervoor bij uitstek geschikt.

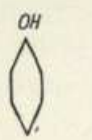
Hier komt nog bij, dat men de uit plastica vervaardigde voorwerpen zonder moeite een fraai glanzend, eventueel gekleurd, uiterlijk kan geven.

De twee laatstgenoemde eigenschappen, de vormbaarheid van de grondstof en de goede „finish" van het product zijn reden, dat de plastica ook daar toepassing vinden, waar de electrische eigenschappen niet zo zeer ter zake doen, bij de fabricage van bijv. apparatenkasten, telefoonhoorns, knoppen, lamparmaturen enz.

In dit artikel wordt eerst een en ander medegedeeld over de moleculaire bouw van de plastica. Vervolgens geven we een overzicht van de voornaamste vormmassa's en hun specifieke eigenschappen. Daarna bespreken we in het kort de methoden welke bij de vervaardiging van voorwerpen en onderdelen van apparaten van plastica toepassing vinden. Ten slotte vermelden we een aantal voorbeelden van het gebruik van dergelijke artikelen, die voornamelijk aan de electrotechnische industrie ontleend zijn.

Macromoleculaire stoffen

Een stof die bij de bereiding van plastica een belangrijke rol speelt is phenol, waarvan de structuurformule (in vereenvoudigde vorm) hiernaast is geschreven. In vergelijking met die van de hieronder te bespreken stoffen is het molecuul van phenol eenvoudig van bouw. Het is een micromoleculaire stof, waarvan het molecuul uit 13 atomen bestaat. De plastica daarentegen zijn alle macromoleculair, dwz. dat zij zijn opgebouwd uit zeer grote moleculen, die bestaan uit 1000 of meer, onderling door chemische bindingen verbonden atomen. Als voorbeeld hiervan is in *fig. 1* de structuur van een phenol-formaldehyde-molecuul getekend, waarbij tevens is aangegeven door welke reactie deze stof ontstaat. De laatste tijd heeft men plastica ontwikkeld wier moleculen 10 000, ja zelfs 100 000 atomen bevatten.



Bij de synthetische bereiding van plastica gaat men uit van micromoleculaire stoffen. Bij de keuze

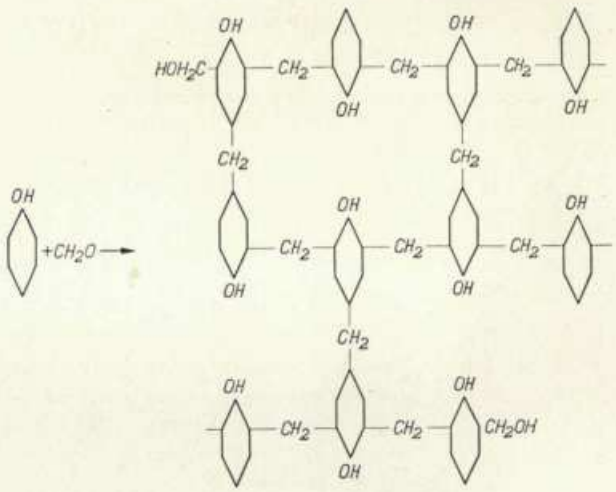


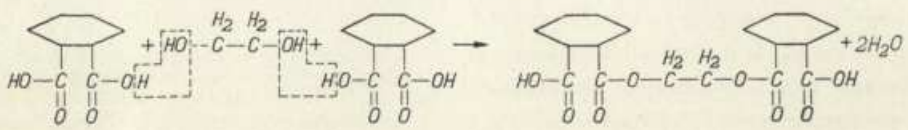
Fig. 1. De vorming van phenol-formaldehyde-hars. Deze voorstelling is sterk schematisch. Men moet zich de benzeenkernen driedimensionaal en op een niet-regelmatig gerangschikte wijze aan elkaar gekoppeld denken.

daarvan is het nodig te letten op de functionaliteit van de reactiepartners. Daaronder verstaat men het aantal waterstofatomen of reactieve groepen van de oorspronkelijke moleculen waardoor de vorming van macromoleculaire verbindingen tot stand komt. De reagerende stoffen moeten zo gekozen worden, dat na het verloop van de eerste reactie nog voldoende functionaliteit is overgebleven. Een paar voorbeelden kunnen de bedoeling van deze bewering verduidelijken.

Bij de verestering van azijnzuur en aethylalcohol bezit iedere reactiecomponent de functionaliteit 1 (het is een zg. 1 : 1-reactie), en als het aethylacetaat gevormd is, dan is de reactie voltooid. Macromoleculen kunnen op deze wijze niet ontstaan.

Als men glycol en azijnzuur, een bifunctionele en een monofunctionele stof, bij elkaar brengt, wordt evenzo door de vorming van het diacetaat het einde van de reactie bereikt.

Indien echter het zuur ook bifunctioneel is, openen zich mogelijkheden voor verdere reacties. Een voorbeeld van zulk een 2 : 2-reactie is die tussen phtaalzuur en glycol. Het verloop daarvan kan door de volgende vergelijking worden voorgesteld:



Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Wanneer twee moleculen phtaalzuur gereageerd hebben met één molecuul glycol, ontstaat een molecuul dat weer twee reactieve groepen heeft. Twee van deze nieuwe moleculen zullen dan op hun beurt weer reageren met een molecuul glycol. Dit gaat zo door en op deze wijze ontstaan kettingvormige moleculen. De oorspronkelijke phtaalzuurmoleculen zijn door CH_2-bruggen aan elkaar verbonden.

Deze bereidingswijze van plastica heet de condensatiemethode. Hierbij komt een verbinding tussen twee verschillende moleculen tot stand onder uittreding van een eenvoudig afsplitsingsproduct (in dit geval water).

Een andere vorm van condensatie verkrijgt men, wanneer een trifunctionele stof reageert met een bifunctionele, bijv. glycerine met phtaalzuur. We kunnen ons voorstellen, dat hierbij eerst weer ketenmoleculen gevormd worden zoals bij de 2 : 2-reactie. In deze ketens zijn dan echter nog niet veresterde alcoholgroepen overgebleven. Indien nu voldoende phtaalzuur aanwezig is, worden twee hydroxylgroepen van verschillende ketens door één molecuul phtaalzuur veresterd. Op deze wijze kunnen de kettingvormige moleculen aan elkaar worden gekoppeld tot ruimtelijke structuren. Deze overgang is kenmerkend voor de 3 : 2-reactie.

Een tweede bereidingswijze van geheel synthetische macromoleculaire stoffen is de polymerisatiemethode. Daarbij verbinden zich één soort kleine moleculen onderling en zonder afscheiding van nevenproducten. Om hiervan een voorbeeld te geven bespreken we de bereiding van het tegenwoordig zo belangrijke polystyreen. De hierop betrekking hebbende formules vindt men in *fig. 2*. De uitgangsstof voor het macromolecuul is styreen (*a*). Dit molecuul wordt geactiveerd, wat kan gebeuren onder de invloed van katalysatoren, of doordat het molecuul ten gevolge van lichtstraling of verwarming in hevige trilling wordt gebracht. Het resultaat daarvan is, dat de dubbele binding openklapt, zoals bij *b* is aangegeven. Bij het samenkomen van dit geactiveerde molecuul met een ander molecuul kan nu een reactie optreden (zie *c*). Het dan ontstane, geactiveerde molecuul kan weer reageren met een nieuw molecuul styreen. Het resultaat is ten slotte een kettingmolecuul (*d*). Op deze wijze kan uit styreen de macromoleculaire stof polystyreen worden verkregen. Ook vele andere stoffen die een $-C^H = CH_2$ groep bezitten zijn tot polymerisatie in staat.

Vooral in het polymerisatiegebied zijn de laatste twintig jaren zeer grote vorderingen gemaakt, waardoor tal van waardevolle producten zijn ontwikkeld, zoals: polyvinylacetaat, polyvinylchloride, polyvinylideenchloride, polyvinylalcohol, polyaetheen, polyacrylzure en methacrylzure esters.

Een belangrijke eigenschap van de macromoleculaire stoffen is, dat zij een sterke samenhang vertonen. Deze is veel hechter dan die welke men bij micromoleculaire verbindingen aantreft. Als we genoegen nemen met een globale voorstelling, kunnen we dat wel begrijpen. In elkaar gedrukt droog zand heeft geen samenhang, maar een prop in elkaar gedrukte watten veel meer. Kleine moleculen kunnen we nu vergelijken met zandkorrels, zij hangen betrekkelijk slecht samen. Lange kettingvormige macromoleculen vertonen echter overeenkomst met watten, zij zijn niet gemakkelijk van elkaar te halen. De moleculen van een stof trekken elkaar aan, zoals bekend is, met krachten van electrische aard. De hierbij werkzame zg. Van der Waals-krachten nemen toe naarmate de moleculen groter worden. Dit werkt ook mede om bij macromoleculen een veel sterkere onderlinge samenhang te doen ontstaan dan bij micromoleculen.

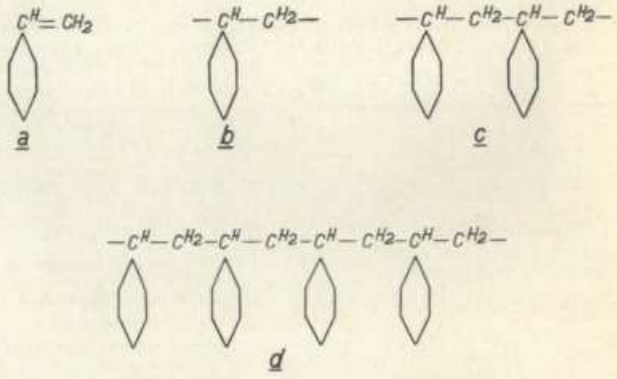


Fig. 2. De vorming van polystyreen. *a*) Styreen. *b*) Geactiveerd styreenmolecuul. *c*) Twee met elkaar verbonden geactiveerde styreenmoleculen. *d*) Polystyreen.

Vele plastica worden in vezelvorm gemaakt (bijv. „Nylon"garens). Het blijkt, dat men de sterkste vezels krijgt, als de kettingmoleculen volgens hun lengte in de vezelrichting zijn georiënteerd. Ook bij natuurlijke vezels is dat steeds het geval.

De twee soorten macromoleculaire stoffen — de tweedimensionale (ketting)moleculen en de driedimensionale moleculen — verschillen sterk in hun gedrag bij verwarming. De eerste categorie wordt bij voldoende temperatuurverhoging gewoonlijk plastisch en bij daaropvolgende afkoeling weer vast. Blijkbaar heeft er bij het plastisch worden geen chemische omzetting plaats gehad. Deze groep van plastica noemen we thermoplasten. De stoffen die driedimensionale macromoleculen kunnen vormen, behoren echter tot de groep der thermohardende materialen. Deze stoffen worden bij

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verwarming eerst plastisch, maar na enige tijd keihard en blijven dit na afkoelen. Het is daarna niet mogelijk ze door hernieuwde verwarming weer plastisch te maken.

Het zo juist genoemde verschil tussen twee- en driedimensionale macromoleculenbouwsels gaat niet altijd op. Indien de onderlinge kleefkracht bij tweedimensionale macromoleculen zeer sterk is, wordt de temperatuur waarbij de stof plastisch zou worden zo hoog, dat voordien ontleding optreedt. Cellulose is daarvan een bekend voorbeeld.

De voornaamste vormmassa's en hun specifieke eigenschappen

Als men een voorwerp uit plastica wil vervaardigen, moet het materiaal in een matrijs of pers worden gebracht om het de juiste vorm te doen aannemen. De hiervoor gereed gemaakte grondstof noemt men de vormmassa. De vormmassa's welke het meest gebruikt worden zijn:

1) de thermohardende massa's: phenoplasten, aminoplasten, polyesters en sommige siliconen;
2) de thermoplastische massa's: verschillende cellulosederivaten, polyamiden, polystyreen, -aetheen, -dichloorstyreen, -vinylideenchloride, -vinylacetaat, -vinylbutyraat, vinylchloride en verschillende mengpolymeren, acrylaatharsen en siliconen.

Deze materialen verschillen heel sterk wat hun physische en chemische eigenschappen betreft. Het is bovendien mogelijk deze eigenschappen nog verder te variëren door de toevoeging van geschikte vulstoffen.

Om een overzicht te geven van de eigenschappen van deze plastica zullen we ze in enkele groepen rubriceren. In *tabel I* zijn bovendien betreffende de voornaamste vormmassa's enige numerieke gegevens bijeengebracht.

Phenoplasten

De phenolharsen (voorbeeld: „Philite") worden synthetisch samengesteld uit grondstoffen die uit cokes en teer zijn bereid. De toegevoegde vulstoffen (houtmeel, mica, asbest en dergl.) nemen vaak de helft in van het totale gewicht der vormmassa's en zijn van grote invloed op de eigenschappen. De aldus samengestelde massa's vinden een uitgebreide toepassing als constructiemateriaal voor radiokasten, telefoonhoorns, deurknoppen, enz. De phenolharsen zonder vulstoffen worden veel gebruikt in lijmen, vernissen en dergelijke stoffen.

Aminoplasten

Tot de aminoplasten behoren ureum- en melamineformaldehyde, twee massa's die veelal vermengd gebruikt worden en dan een grondstof vormen met goede electrische eigenschappen, die met zeer gevariëerde en behoorlijk stabiele kleuren vervaardigd kan worden. Deze stof vervangt de phenoplasten, wanneer men een materiaal verlangt met een grote kruipstroombestandheid of een grondstof waaruit voorwerpen met heldere, lichte kleuren vervaardigd kunnen worden.

Tabel I. Eigenschappen van enige plastica

		Soortelijk gewicht	Buigslagvastheid N·m/m² [2])	Kerftaaiheid N·m/m² [2])	Temperat. waarbij vervorming optreedt °C	Isolatieweerstand ohm·cm	Diëlectr. constante bij 1000 per/sec	$10^4 \times$ tgδ bij 1000 per/sec	Doorslagvastheid kV/mm
Thermohardende stoffen	phenoplasten met diverse vulstoffen	1,35-1,8	$7\text{-}30\cdot10^3$	$1{,}5\text{-}25\cdot10^3$	150-170	$10^9\text{-}10^{12}$	5	100-500	10-30
	aminoplasten	1.5	$7\cdot10^3$	$1{,}7\cdot10^3$	120	10^{12}	5-7	500	15
Thermoplastische stoffen	polystyreen	1,05	$20\cdot10^3$	$5\cdot10^3$	65-100	$>10^{12}$	2,5-2,7	0,5-5	20-28
	polyaetheen	0,92	—	—	50	$>10^{12}$	2,25-2,3	3-5	16-19
	polyvinylchloride	1,38	$175\cdot10^3$	$5\cdot10^3$	65	10^{12}	4,9-5,6	1000	7-16
	polymethacrylzure methylester	1,18	$25\cdot10^3$	—	65-100	$>10^{12}$	3,2-3,4	500-600	20
	polyamiden	1,08-1,14	$>150\cdot10^3$	$10\cdot10^3$	65	10^{12}	4-5	200-500	14-16
	aethylcellulose	1,08-1,18	—	—	40-90	$>10^{12}$	2,5-3,5	170-360	16-24

[2]) 1 N (newton) = 10^5 dyne, 1 N·m/m² = $1{,}02\cdot10^{-3}$ kg cm/cm²

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Cellulosederivaten

De soorten cellulose welke in de industrie een uitgebreide toepassing vinden zijn: cellulosenitraat (vervaardigd uit houtcellulose of katoenvezels behandeld met zwavel- en salpeterzuur en week gemaakt met kamfer), cellulose-acetaat (bereid uit katoenvezels met zwavelzuur, azijnzuur en azijnzuuranhydride), cellulose-acetobutyraat (vervaardigd uit katoenvezels behandeld met azijnzuur, azijnzuuranhydride en boterzuur) en aethylcellulose (eveneens vervaardigd uit katoenvezels, die behandeld zijn met soda en aethylchloride).

De plastica op cellulosebasis zijn bijzonder geschikt voor massaproductie. Zij worden gebruikt voor de fabricage van voorwerpen van zeer verschillende aard. Cellulosenitraat is het beste bekend onder de naam van celluloid.

Vinylverbindingen

De meest bekende vinylverbindingen zijn: polyvinylacetaat, polyvinylchloride, polyvinylideenchloride en polyvinylalcohol.

Polyvinylacetaat doet dienst als tussenlaag bij veiligheidsglas en voor het samenkitten van glas, papier en andere materialen. Polyvinylchloride doet dienst als kunstrubber. Daar bij de bereiding van deze stof weekmakers worden toegepast, heeft men het zelf in de hand om materialen van zeer verschillende hardheden te verkrijgen.

Tot de polyvinylverbindingen behoren ook polystyreen, polyaetheen en acrylaathars.

Polystyreen is een glashelder materiaal, dat o.a. voor allerlei goedkope snuisterijen wordt gebruikt. In de electrotechniek vindt het toepassing, omdat het een buitengewoon goed electrisch isolatiemateriaal is met een heel lage verliesfactor, dat bovendien de gunstige eigenschap heeft, dat het in een vochtige omgeving zeer weinig water opneemt.

Een betrekkelijk nieuw, enigszins leerachtig, buigzaam en doorschijnend materiaal is polyaetheen. Daar de electrische eigenschappen zeer goed zijn, gebruikt men het in de omhulling van onderzeekabels, in plaats van guttapercha. Om dezelfde reden vindt deze grondstof in de radartechniek veel toepassing.

Acrylaathars (polymethacrylzure methylester) is een belangrijke harssoort, verkregen door blauwzuur te laten reageren met aceton en methylalcohol. Dit materiaal is zonder kleurstof volkomen doorzichtig, beter dan welke andere grondstof ook, omdat het in het geheel geen eigen kleur heeft. Het wordt de laatste jaren op steeds grotere schaal toegepast voor vensters in vliegtuigen. Verder maakt men er o.a. brilleglazen, kunstogen en kunstgebitten van.

Polyamiden

De polyamiden zijn pas na 1940 naar voren gekomen. Zij vormen een heel sterke en taaie grondstof, die tot dusverre in hoofdzaak als vezelmateriaal („Nylon"-garens) in de handel is gebracht.

Siliconen

Van de siliconen behoren sommige tot de thermohardende en andere tot de thermoplastische grondstoffen. Zij vormen een reeks materialen (vloeistoffen, „vetten", rubberachtige en harsachtige stoffen) die alle gemeen hebben, dat zij weliswaar geen organische stoffen zijn, maar er in hun bouw toch grote overeenkomst mede vertonen. De hoofdschakels van de molecuulketens worden gevormd door silicium- en zuurstofatomen. De zijketens, die van de siliciumatomen uitgaan, dragen dan nog methylgroepen of andere, koolstofatomen bevattende, groepen. Ook kan men een siliciumatoom van een keten via een zuurstofatoom verbinden met een siliciumatoom van een andere keten.

De meest frappante eigenschap van al deze verbindingen is, dat zij zeer goed bestand zijn tegen hoge temperaturen, bijv. tot 300 à 400 °C, waarbij organische stoffen al lang ontleed zijn. Dit is zo belangrijk, omdat dit bij geen der tot dusver beschreven plastica het geval is; deze gaan bij hogere temperatuur door chemische ontleding onder koolstofafscheiding over in bruin-zwarte waardeloze massa's [3]). De siliconen worden dan ook speciaal toegepast in gevallen waarin hoge temperaturen optreden: de vloeistoffen en vetten voor de smering van machine-onderdelen die zeer warm zijn, de rubbersiliconen als isolatie van draden die aan een hoge temperatuur zijn blootgesteld, de harsen als isolatiestof in motoren. In de lakindustrie worden deze harsen toegepast voor het maken van lakken waarmede men bijv. ovens, rookkanalen, radiatoren en dergelijke kan beschilderen.

De siliconen hebben goede electrische eigenschappen. Belangrijk is ook dat zij bestand tegen water (waterafstotend) zijn. Een voorwerp dat in een silicon-oplossing ondergedompeld is geweest, wordt daarna door water niet meer bevochtigd.

---

[3]) Tijdens de laatste wereldoorlog heeft men in de Verenigde Staten een ander plastisch materiaal, het zg. „Teflon" (polytetrafluoraetheen) ontwikkeld, dat tot 400 °C kan worden verhit, zonder dat men veel van achteruitgang der eigenschappen bemerkt. Dit materiaal, dat op stijf leer gelijkt, heeft zeer opmerkelijke eigenschappen, waarvan de belangrijkste wel is, dat het door geen enkele organische vloeistof en ook niet door corrosieve reagentia zoals bijv. koningswater, wordt aangetast. Deze stof opent voor de techniek belangrijke nieuwe mogelijkheden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het vormen van de voorwerpen

We hebben er reeds op gewezen, dat vele toepassingen der plastica berusten op de gemakkelijkheid waarmede men de daaruit vervaardigde voorwerpen de gewenste vorm kan geven. Men maakt daarbij steeds gebruik van de plastische eigenschappen der grondstof, die bij een temperatuurverhoging naar voren komen. Bij deze hoge temperatuur perst men dan de massa in een min of meer vloeibare toestand, waardoor een geheel van een bepaalde vorm ontstaat.

Het vormen van voorwerpen uit thermohardende massa's geschiedt door persen in matrijzen. We behoeven daar niet uitvoerig op in te gaan, omdat dit vroeger in dit tijdschrift reeds besproken is in een tweetal artikelen die gewijd waren aan het materiaal „Philite" [4]).

Men gebruikt in de regel een uit twee delen bestaande stalen matrijs. Daarbij wordt een afgewogen hoeveelheid persmassa tussen de beide matrijshelften gebracht. Deze worden tot ongeveer 160 °C verwarmd en tegelijkertijd tegen elkaar geperst met krachten van 100 000 tot 150 000 kg. Veelal geschiedt dit met behulp van hydraulische persen. In *fig. 3* zijn enige op deze manier vervaardigde voorwerpen afgebeeld.

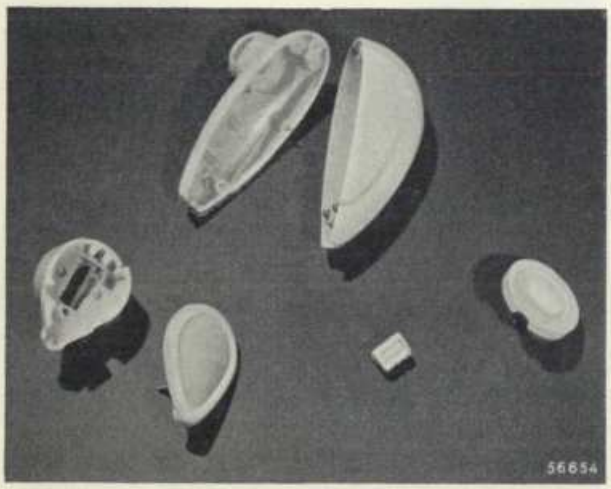


Fig. 3. Onderdelen van een „Philishave"scheerapparaat, vervaardigd uit ureum-formaldehyde. Dit materiaal maakt het mogelijk de voorwerpen een fraaie lichte kleur te geven.

Het zal duidelijk zijn, dat men op deze wijze niet voorwerpen van iedere gewenste vorm kan maken. De producten die uit thermohardende vormmassa's bereid worden moeten in de regel „lossend" zijn, dwz. dat zowel de bovenste als de onderste matrijshelft na de vormgeving door bewegingen in tegengestelde richtingen van het product „los" kunnen komen. Soms kan hierin worden voorzien door af te wijken van de conventionele vorm (vergelijk bijv. het oor van een theekopje van plastica met dat van een porseleinen kopje). Een niet lossend product dat men toch met twee matrijshelften kan persen, is een voorwerp met een enkele schroefdraad, zoals een jampotdeksel. Bij het openen van de matrijs blijft dit vastzitten aan de matrijshelft die de schroefdraad gevormd heeft, maar door losschroeven kan het daarvan verwijderd worden.

Een bijzondere plaats in de vormingstechniek nemen gelamineerde materialen in. Deze zijn enigszins vergelijkbaar met houten multiplexplaten. Bij de bereiding van deze materialen gaat men uit van papier, weefsel of houtfineer in de vorm van vellen van ongeveer 1 bij 1 meter. Deze vellen worden met hars doordrenkt en vervolgens tussen warme platen op elkaar geperst. Men verkrijgt aldus een harsmassa die doorsneden is door papier-, weefsel- of houtlagen.

Om dit in de practijk uit te voeren wordt een baan papier of weefsel eerst door een bak geleid waarin zich een harsoplossing bevindt en vervolgens door een lange doorvoeroven. De verwarming in deze oven heeft ten doel de oplosmiddelen te verwijderen en de hars enigszins te harden. Daarna wordt de baan in stukken geknipt, deze stukken worden gestapeld en vervolgens geperst tussen vlakke platen. De op deze wijze uit phenolhars verkregen materialen noemt men hardpapier of hardweefsel.

Bij de vormgeving van voorwerpen uit thermoplastische massa's wordt van andere fabricagemethoden gebruik gemaakt, die ook berusten op de plastische eigenschappen bij temperatuurverhoging. Daarbij is er rekening mede gehouden, dat deze stoffen door de aard van hun macromoleculen bij temperatuurverhoging niet hard worden.

De vormingsbewerkingen die bij deze materialen worden toegepast zijn: het injecteren, het extruderen, het persen en het blazen.

Hoe men te werk gaat bij het injecteren of spuitgieten, blijkt uit *fig. 4*, die een schematische voorstelling geeft van een bij dit proces gebruikte machine. De vormmassa wordt in een warme cylinder gebracht, die aan één zijde tuitvormig toeloopt. Deze cylinder is tot een zodanige temperatuur verwarmd, dat de massa week wordt. Met behulp van een plunjer of zuiger, die in de cylinder past, drukt men nu het weke materiaal door de tuitvormige opening in de matrijs. Deze matrijs

[4]) R. Houwink, Eigenschappen en toepassingen van kunstharsproducten, Philips techn. T. **1**, 257-263, 1936; L. L. C. Polis, „Philite" als constructie-materiaal, Philips techn. T. **3**, 9-16, 1938.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

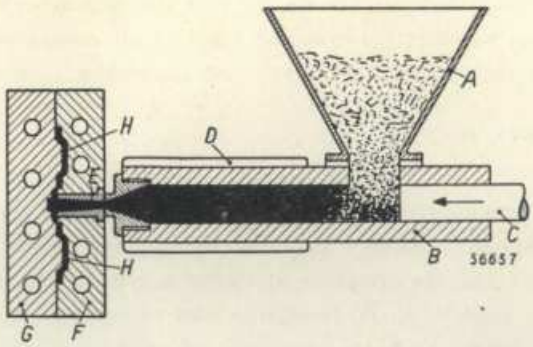


Fig. 4. Gang van zaken bij het injecteren van thermoplastisch materiaal. *A* vulbak met vormmassa, *B* cylinder, *C* plunjer, *D* verwarmingselement, *E* injectiekanaal, *F* en *G* matrijshelften met koelkanalen, *H* twee producten (bakjes).

wordt vaak gekoeld. Als de matrijsholte is gevuld, komt de plunjer tot stilstand. *Fig. 5* toont een aantal voorwerpen die volgens de injectiemethode vervaardigd zijn.

Staven, buizen e.d. fabriceert men volgens de methode van het extruderen of spuiten. Deze extrusiemethode wordt in *fig. 6* toegelicht. Het materiaal wordt in een koude vulbak gestort en met behulp van een wormwiel door een cylinder getransporteerd. Deze cylinder wordt, naarmate het materiaal verder komt, steeds hoger in temperatuur. Om een homogene massa te krijgen wordt de week geworden grondstof dikwijls door een of twee roosters geperst. De cylinder eindigt in een nauwe opening. De weke massa komt daardoor in de lucht en wordt dan hard.

De vorm van de opening bepaalt, of men staven (ronde opening) of linten en platen (rechthoekige opening) of buizen (ringvormige opening) zal verkrijgen. Het is ook mogelijk koperdraden, die als snoeren of kabels dienst moeten doen, te omspuiten.

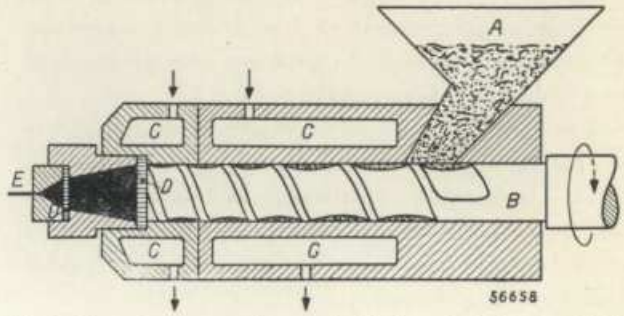


Fig. 6. De extrusie van thermoplastisch materiaal. *A* vulbak met vormmassa, *B* transportworm, *C* verwarmingselementen, *D* zeefplaten, *E* gespoten product.

Indien bij thermoplastische massa's een persproces wordt toegepast, verloopt dit ongeveer op dezelfde wijze als bij thermohardend materiaal. Men gebruikt een onder- en een bovenmatrijs, beide verwarmd. Daar de massa bij de hogere temperatuur week blijft, is het nodig de matrijs, terwijl deze nog gesloten is, af te koelen. Het persen vindt o.a. toepassing bij de fabricage van platen, hoewel deze

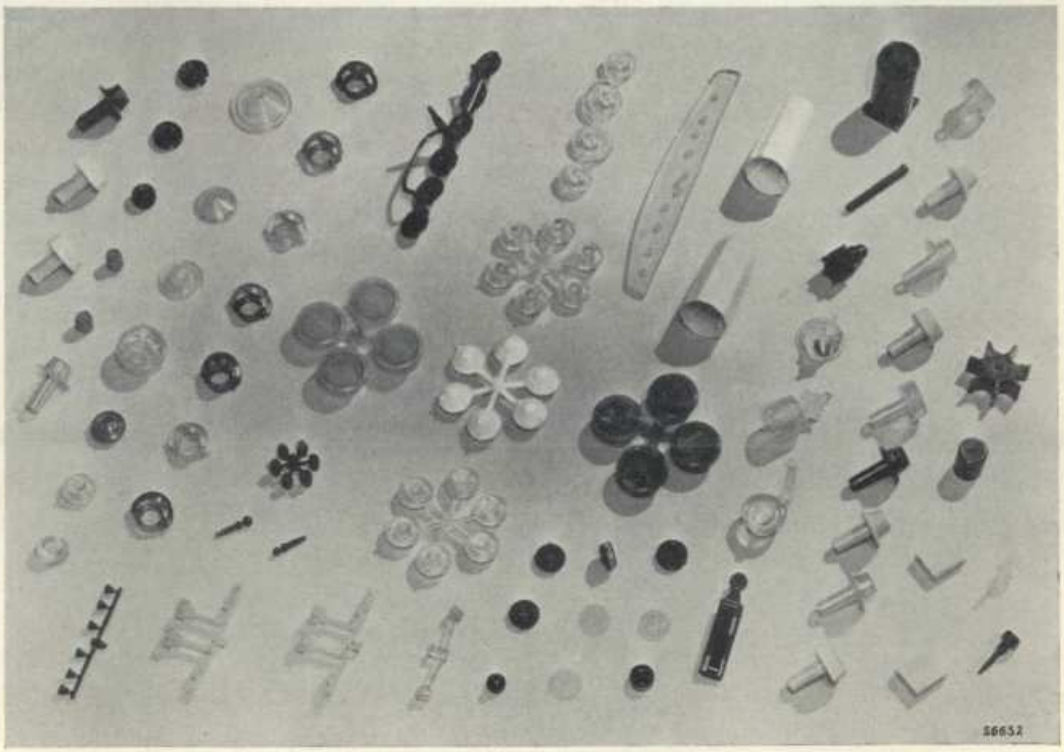


Fig. 5. Een aantal voorwerpen die volgens de injectiemethode zijn vervaardigd. Als grondstof is bij sommige polystyreen gebruikt, bij andere polymethacrylzure ester („Plexiglas").

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gewoonlijk volgens de injectiemethode worden vervaardigd.

Bij de toepassing van de blaasmethode gaat men uit van platen of buizen in de vorm die zij reeds door injecteren, spuiten of persen hebben verkregen. In *fig. 7* wordt dit verduidelijkt. Men plaatst bijv. twee warme plaatjes materiaal tussen de onder- en bovenhelft van een vorm. Tussen de plaatjes wordt een holle naald gebracht en door de buisvormige opening hiervan wordt lucht geblazen. Als gevolg daarvan wijken de plaatjes uiteen en nemen zij de vorm aan die bepaald is door de matrijshelften. Het vervaardigen van celluloid poppen is een voorbeeld van de toepassing van de blaasmethode. Een voordeel van deze bewerkingsmethode is, dat men geen stalen matrijzen nodig heeft, daar met lage drukken kan worden volstaan.

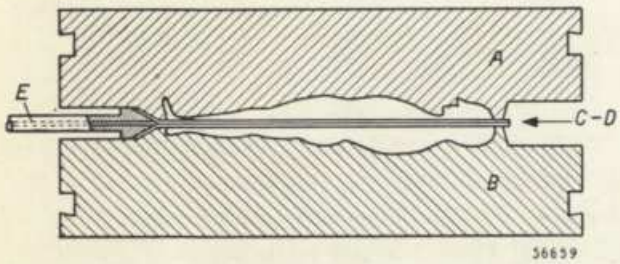


Fig. 7. De blaasmethode bij het vormen van thermoplastisch materiaal. *A* en *B* boven- en ondermatrijs, *C* en *D* twee warme plaatjes materiaal (nog niet vervormd), *E* kanaal waardoor lucht tussen de plaatjes wordt geperst.

Tot besluit willen we nu nog enige voorbeelden geven van het gebruik van plastica als constructiemateriaal bij electrotechnische apparaten.

Toepassingen

Uit tabel I blijkt, dat tot de thermohardende materialen grondstoffen met zeer gevarieerde eigenschappen behoren. Van de thermoplasten zijn in deze tabel die opgenomen welke het meest toepassing vinden bij de fabricage van electrotechnische apparaten. Deze vertonen ook een rijke verscheidenheid van eigenschappen op mechanisch en electrisch gebied, op grond waarvan voor ieder product het meest geschikte materiaal gekozen moet worden.

In *fig. 8* zijn een aantal onderdelen van electrotechnische apparaten afgebeeld, alle geperst uit phenol-formaldehyde („Philite"). Deze zijn vervaardigd uit „Philite"-vormmassa's van zeer uiteenlopende samenstellingen. Sommige van deze voorwerpen worden bijv. gebruikt in röntgentoestellen. Men verlangt hiervan dikwijls, dat zij een hoge doorslagspanning (30 kV/mm bij 90 °C) zullen bezitten en dat zij bij deze temperatuur tegen de inwerking van olie bestand zullen zijn. Bovendien moet de grondstof gemakkelijk vormbaar zijn met het oog op de vaak ingewikkelde en nauwkeurig omschreven vorm van de onderdelen van deze apparaten. Deze artikelen zijn daarom vervaardigd van

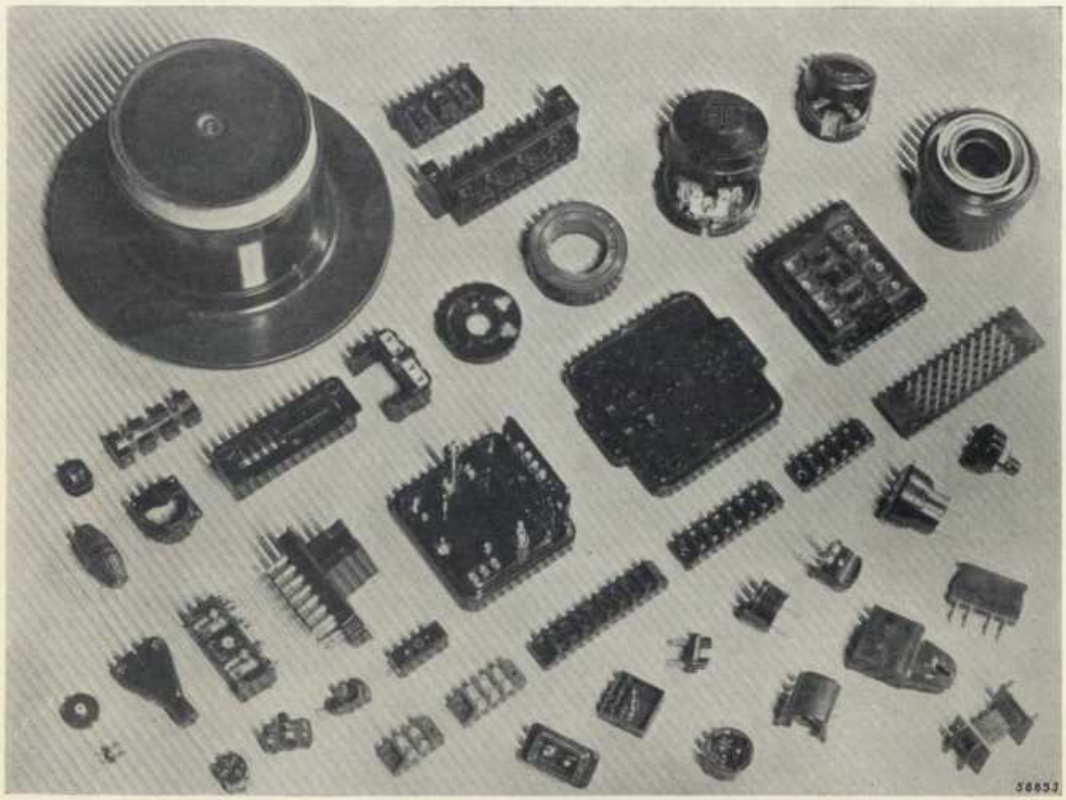


Fig. 8. Onderdelen van electrotechnische apparaten, alle geperst uit phenol-formaldehyde („Philite").

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het zg. hoogspannings-„Philite", dat aan deze eisen voldoet en o.a. een veel hogere doorslagspanning heeft dan het gewone „Philite".

Polyaetheen en polystyreen vallen in de tabel op door hun lage diëlectrische verliezen. Dit verklaart, dat deze beide materialen in de electrotechnische industrie zulk een veelvuldige toepassing vinden. Polyaetheen wordt veel gebruikt als omhulling van kabels voor het transport van hoogfrequente electrische stromen, polystyreen als grondstof voor allerlei apparaten of onderdelen die aan hoge electrische eisen moeten voldoen.

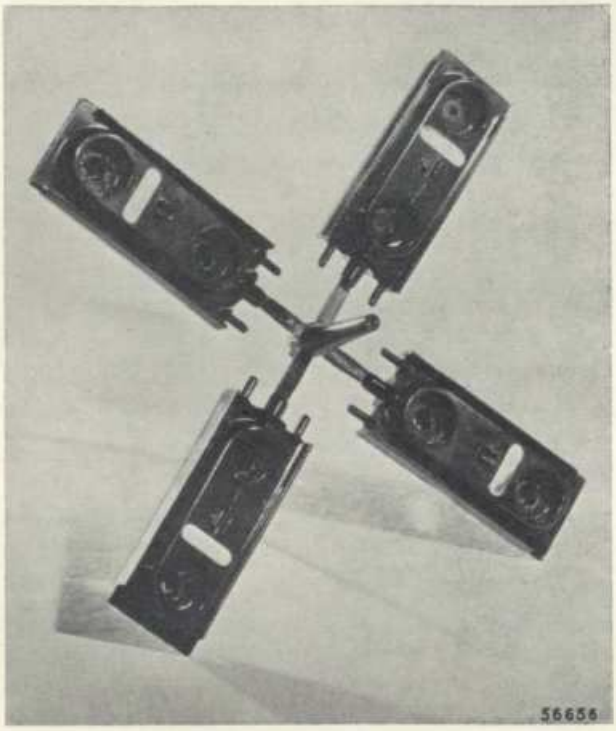


Fig. 9. Spoellichamen van polystyreen. Hierboven is het werkstuk afgebeeld, zoals het volgens de injectiemethode wordt gefabriceerd. Het bestaat uit vier spoellichamen die daarna van de gemeenschappelijke houder worden afgeknepen.

Het lage verwekingspunt van polystyreen is wel een bezwaar, maar de chemische industrie is er reeds in geslaagd polymeren van gesubstitueerde styreen te bereiden met hogere verwekingspunten, waarbij de goede electrische hoedanigheden behouden zijn.

In de *figuren 9* en *10* zijn enige spoellichamen met de bijbehorende stelschroeven afgebeeld. In dit geval werd polystyreen als materiaal gekozen in verband met de uitstekende electrische eigenschappen van deze stof. Dikwijls wordt deze grondstof echter alleen gekozen om te profiteren van de gemakkelijke vormbaarheid van polystyreen door middel van injectie of extrusie.

Polyvinylchloride wordt op grote schaal gebruikt voor het omspuiten van draad voor de fabricage

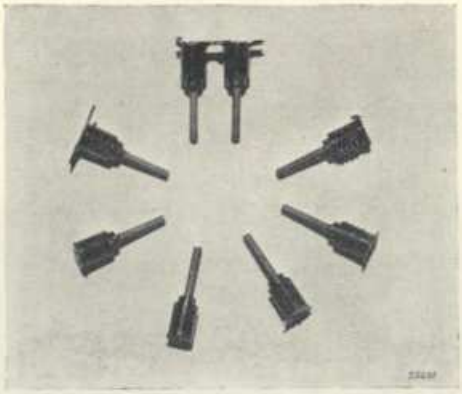


Fig. 10. Stelschroeven voor de in fig. 9 afgebeelde spoellichamen. Deze stelschroeven (afgebeeld op 3/4 van de ware grootte) bevatten een „Ferroxcube"-kern met een houder van polystyreen; zij dienen om de spoelen, die uiteindelijk in de spoellichamen worden gemonteerd, op de juiste waarde der zelfinductie af te stellen. Zij worden ook door injectie vervaardigd.

van snoeren en soepele aansluitstukken. *Fig. 11* geeft daar een voorbeeld van.

Van de optische eigenschappen van polymethacrylzure esters wordt o.a. gebruik gemaakt bij de vervaardiging van lenzen en prisma's. De hoge brekingsindex en de geringe lichtabsorptie maken het materiaal voor dit doel bij uitstek geschikt. Bij de voorwerpen die fig. 5 te zien geeft zijn er enige die van deze grondstof zijn vervaardigd. *Fig. 12* toont nog een toepassing uit de electrotechnische industrie.

We hebben ons beperkt tot het geven van enige voorbeelden, die alle behoren tot het terrein der massaproductie. Dit is slechts een greep uit de overvloed van toepassingen. Volledigheidshalve zij

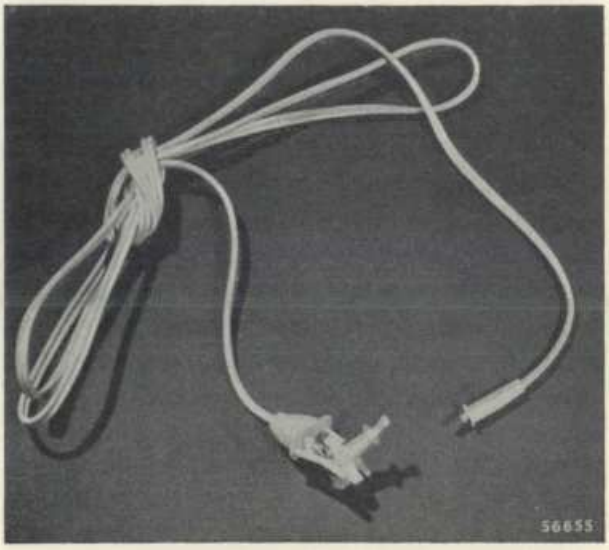


Fig. 11. Een snoer vervaardigd van polyvinylchloride. Het snoer zelf is geëxtrudeerd, de tule en de steker zijn geïnjecteerd. Dit snoer behoort bij het „Philishave"-scheerapparaat, waarvan in fig. 3 enige onderdelen zijn afgebeeld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

alleen nog vermeld, dat plastica in de electrotechniek behalve als grondstof voor massaproducten ook een rol spelen voor allerlei op zichzelf staande gevallen waar het niet om een gemakkelijke verwerkbaarheid te doen is doch om bepaalde combinaties van eigenschappen. Zo komt het vaak voor dat voor een bepaald onderdeel van een enkel apparaat gebruik wordt gemaakt van een der merkwaardige eigenschappen die de familie der plastica (met inbegrip van de siliconen en „Teflon") in grote verscheidenheid biedt.

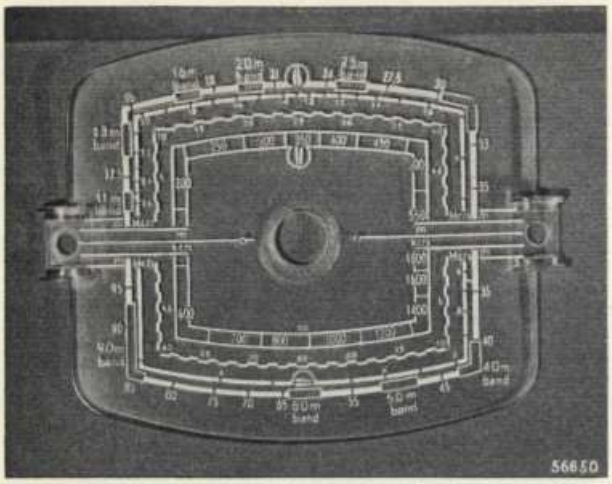


Fig. 12. Een stationsschaal voor een radiotoestel, vervaardigd van polymethacrylzure ester („Plexiglas") volgens de spuitmethode.

Samenvatting. Plastica vinden, evenals op vele andere gebieden, ook in de electrotechnische industrie een uitgebreide toepassing als constructiemateriaal voor allerlei apparaten. Vaak berust het gebruik op de goede electrische eigenschappen van deze grondstoffen, in andere gevallen op hun gemakkelijke vormbaarheid en op het goede uiterlijk dat men aan het product kan geven. Dikwijls is het mogelijk deze stoffen langs synthetische weg samen te stellen, met de eigenschappen die men verlangt. Van de methoden die toepassing vinden bij de vorming van de macromoleculen, die het kenmerk van alle plastica zijn, worden de condensatie- en de polymerisatiemethode besproken. Niet alleen van thermohardende vormmassa's wordt gebruik gemaakt, doch ook steeds meer van thermoplastische. De voornaamste massa's en hun specifieke eigenschappen worden in het kort besproken. Een tabel geeft een beeld van de grote verscheidenheid van deze eigenschappen. Bij het vormen van voorwerpen uit thermoplastisch materiaal zijn een viertal methoden in gebruik: de injectie-, de extrusie-, de pers- en de blaasmethode. Ten slotte worden een aantal toepassingen der plastica op electrotechnisch gebied besproken.

EEN APPARAAT VOOR HET AANTONEN VAN OPPERVLAKKIGE BARSTEN IN METALEN DRADEN

door P. ZIJLSTRA.

620.191.3:621.317.39:621.317.336

Hoogfrequente wisselstromen vinden niet alleen toepassing op het gebied van de radio- en communicatietechniek, maar kunnen dikwijls ook als hulpmiddel dienen bij onderzoekingen, waarbij dan het „hoogfrequente" karakter op specifieke wijze tot zijn recht komt. Een voorbeeld van een dergelijke methode van onderzoek is de keuring van metalen draden op oppervlakkige barsten. De stromen die in een draad, bij plaatsing in een hoogfrequent magnetisch wisselveld, worden opgewekt, lopen practisch alleen aan het oppervlak; een oppervlakkige barst zal daardoor een grote invloed hebben en door een geschikt gekozen electrische meting zonder moeite worden gesignaleerd.

Inleiding

Om de electroden van electronenbuizen te verbinden met andere schakelelementen, wordt veel gebruik gemaakt van draad- of staafvormige doorleidingen (bijv. doorvoerpennen). Deze moeten op een zodanige wijze in het glas worden gesmolten, dat een vacuumdichte verbinding gewaarborgd is.

Voor een goede vacuumdichte afsluiting is het gevaarlijk, wanneer de doorleiding, zoals speciaal bij dikkere draden nogal gemakkelijk kan voorkomen, aan het oppervlak fijne barsten vertoont. Bij het insmelten zal het glas namelijk zulk een barst niet geheel kunnen vullen, zodat er kans op inlekken ontstaat. In het bijzonder is dit het geval, indien de barst ongeveer in de lengterichting van de draad of staaf loopt. Om de aanwezigheid van dergelijke barsten van te voren te kunnen vaststellen, zal men gaarne de beschikking hebben over een apparaat waarmede de doorvoerdraden snel gekeurd kunnen worden.

Het gebruik van zulk een toestel behoeft niet beperkt te blijven tot de keuring van doorleidingen. Het is bij voorbeeld ook van groot belang, dat bij de fabricage van grote electronenbuizen de dikke gloeidraden vooraf gekeurd worden op de afwezigheid van fijne barsten, die tot een vroegtijdige breuk van de draad zouden kunnen leiden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In dit artikel wordt een apparaat beschreven, dat voor de boven omschreven keuring in de practijk goed voldoet. We geven eerst een uiteenzetting van het principe van de toegepaste methode.

Het principe van de methode van onderzoek

Plaatst men een geleidende draad of staaf in een spoel waardoor een hoogfrequente wisselstroom vloeit, dan worden in de draad of staaf Foucault-stromen geïnduceerd, die bij hoge frequenties practisch alleen aan het oppervlak van de draad zullen lopen (het zg. huideffect).

We stellen ons voor, dat een ronde metalen staaf zo binnen een cylindrische spoel wordt geplaatst, dat zijn as met die van de cylinder samenvalt. We kunnen de combinatie van spoel en staaf opvatten als een transformator waarvan de secundaire wikkeling bestaat uit één enkele kortgesloten winding, nl. de cylindrische oppervlaktelaag van de staaf waardoor de Foucault-stromen lopen. De impedantie die deze transformator, van de primaire zijde uit gezien, vertoont, is o.a. afhankelijk van de weerstand en de zelfinductie van de secundaire winding en van de koppeling tussen de primaire en secundaire windingen. Dit betekent, dat deze impedantie verband houdt met de vorm van het dwarsprofiel van de staaf.

Vertoont het oppervlak van de staaf een barst, dan zal de impedantie anders zijn dan bij een gave staaf, vooral als de barst geen flauw gebogen uitholling is, maar een scherpe kloof in het nagenoeg cirkelvormige dwarsprofiel. Het is gemakkelijk in te zien, dat door de aanwezigheid van zulk een barst de weg die de geïnduceerde hoogfrequente stromen doorlopen, langer wordt. Dit heeft tot gevolg, dat de weerstand van de „secundaire winding" van de transformator vergroot wordt. Deze verandering wordt aan de primaire zijde van de transformator merkbaar door een verandering van de impedantie van de spoel. (De zelfinductie zal in eerste instantie niet veranderen.) Het is nu alleen nog nodig de spoel op te nemen in een schakeling waarbij een verandering der impedantie gemakkelijk kan worden afgelezen.

Indien men een staaf, die gekeurd moet worden, door de spoel trekt, levert de waarneming van een impedantieverandering een indicatie voor de aanwezigheid van een barst.

Het is van belang te onderzoeken van welke grootte de impedantieverandering is die men kan verwachten. Daartoe moet men de terugwerking van de staaf op de spoel berekenen en nagaan, hoe dit effect verandert door een fijne barst in de draad die door de spoel wordt getrokken. Als men onderstelt, dat dit bijv. een molybdeendraad is met een middellijn van 1,5 mm, die een in de lengterichting verlopende barst vertoont van 0,1 mm diepte, dan vindt men, dat de spoelweerstand (bij de in het apparaat gebruikte frequentie van de stroom) met $^1/_3$ % toeneemt. Het zal blijken, dat een dergelijke verandering met de door ons toegepaste methode zeer goed te constateren is.

De terugwerking van de staaf op de spoel

We beschouwen een cylindrische spoel met een gemiddelde straal van r_1 meter [1]), waarvan de lengte groot is ten opzichte van de diameter. In de spoel en daarmede concentrisch denken we ons een cylindrische staaf met een straal van a meter. We onderstellen, dat de staaf bestaat uit materiaal met een soortelijke weerstand ϱ (ohm·meter) en een relatieve permeabiliteit μ_r, en dat er door de spoel een hoogfrequente wisselstroom $I_1 = I_{1\,max} \sin 2\pi ft$ loopt.

In de ruimte tussen spoel en staaf heeft het magnetische wisselveld H overal dezelfde waarde H_1, die gegeven is door de formule:

$$H_1 = n\, I_1, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

waarin n het aantal windingen per meter van de spoel is.

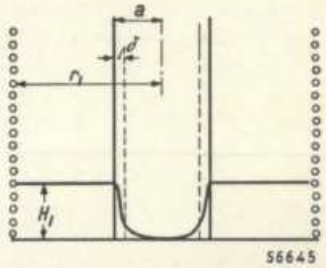


Fig. 1. Schematische voorstelling van het verloop van de grootte van het magnetische wisselveld H binnen de meetspoel (straal r_1) en in de staaf (straal a). δ stelt de indringdiepte voor.

In de staaf worden wisselstromen opgewekt, die bij voldoend hoge waarde van de frequentie f in hoofdzaak bij het oppervlak van de staaf lopen. De stroomdichtheid is aan het oppervlak van de staaf maximaal; zij neemt in de richting van de as snel af (waarbij ook de faze van de stroom zich steeds wijzigt) en zij is op een diepte δ (de zg. indringdiepte) tot $1/e$ maal haar grootste waarde gedaald (e = grondtal natuurlijk logarithmenstelsel). Ook het magnetische veld neemt, zoals de berekening leert, binnen de staaf snel af: bij het oppervlak is $H = H_1$ en op de diepte δ is H_1 afgenomen tot H_1/e (zie *fig. 1*). Het verband tussen de grootheden δ, f, ϱ en μ_r wordt gegeven door de betrekking:

$$\delta = \sqrt{\frac{\varrho}{\pi f \mu_0 \mu_r}} \text{ meter}, \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

waarin μ_0 = de vacuumpermeabiliteit = $4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.

De indringdiepte δ is tevens de dikte van een denkbeeldige stroommantel die bij homogene verdeling van de totale stroom over deze mantel dezelfde warmte-ontwikkeling oplevert als de werkelijk optredende stroom. De in de staaf per meter lengte ontwikkelde Joule-warmte wordt gegeven door de formule

$$P = H_{1max}^2\, \pi a \varrho / \delta \text{ watt}, \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

[1]) We zullen bij de berekening gebruik maken van het eenhedenstelsel van Giorgi.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

waarvoor met behulp van (1) ook geschreven kan worden:

$$P = I_{1\max}^2 \, \pi \, n^2 a \varrho/\delta = I_{1\text{eff}}^2 \, 2\pi \, n^2 \, a\varrho/\delta \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Formule (4) laat zien, dat de in de staaf per meter lengte optredende warmte-ontwikkeling overeenkomt met die van een in serie met de spoel geschakelde weerstand:

$$R' = 2\pi \, n^2 a \, \varrho/\delta \text{ ohm} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Hiermede is dus de terugwerking van de staaf op de impedantie van de spoel, voorzover het de weerstandscomponent betreft, gegeven.

Ook de zelfinductie van de spoel wordt door het inbrengen van de staaf gewijzigd. Vóór het inbrengen was de zelfinductie per meter lengte van de spoel:

$$L = \pi \mu_0 r_1^2 n^2 \text{ henry} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Nadat de staaf in de spoel is gebracht, blijft het magnetische veld, globaal geredeneerd, alleen bestaan in het gebied tussen de spoel en de staaf, waarvan de oppervlakte van de doorsnede $= \pi (r_1^2 - a^2)$. Oorspronkelijk bestond hetzelfde magnetische veld in de gehele ruimte binnen de spoel (oppervlakte der doorsnede $= \pi r_1^2$). De verkleining van de zelfinductie der spoel door de aanwezigheid van de staaf bedraagt dus per meter lengte:

$$L' = \pi \, \mu_0 \, a^2 n^2 \text{ henry} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Als voorbeeld beschouwen we een spoel met een gemiddelde straal $r_1 = 2{,}83$ mm, waarbij het aantal windingen per meter $n = 26\,000$ bedraagt en die gevoed wordt door een hoogfrequente stroom met de frequentie $f = 5{,}6 \cdot 10^6$ per/sec. Voor de kwaliteitsfactor $Q = 2\pi fL/R$ van zulk een spoel (nog zonder de staaf) werd door meting de waarde 17,6 gevonden.

Uit deze gegevens volgt, dat de hoogfrequentweerstand R en de zelfinductie L van de spoel (zonder staaf) per meter lengte resp. bedragen:

$$R = 42\,700 \text{ ohm}, \qquad L = 0{,}0214 \text{ henry}.$$

In deze spoel wordt nu een molybdeendraad met een diameter van 1,5 mm gestoken. De soortelijke weerstand van molybdeen is $\varrho = 5{,}7 \cdot 10^{-8}$ ohm·meter, terwijl $\mu_r = 1$. Als men met formule (2) de indringdiepte berekent, vindt men $\delta = 50{,}8 \cdot 10^{-6}$ meter (dus ca 50 micron). De weerstandsvermeerdering van de spoel die aan de aanwezigheid van de molybdeendraad te danken is, volgt nu direct uit formule (5). Per meter lengte bedraagt zij $R' = 3576$ ohm. Als we deze

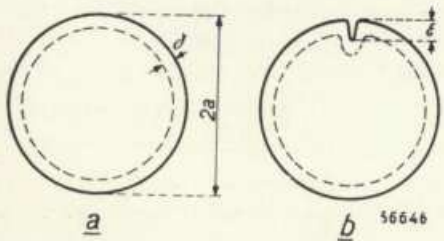


Fig. 2. Doorsnede van een staaf waarbij δ de indringdiepte van de geïnduceerde Foucault-stromen is. *a*) Een gave staaf of draad. *b*) Een staaf met barst in de lengterichting, van de diepte ε.

waarde vergelijken met die van R, blijkt, dat de spoelweerstand ruim 8% is toegenomen. Verder vindt men uit (6) en (7) voor de zelfinductie een vermindering, die ongeveer 7 % van de oorspronkelijke waarde bedraagt.

Welke invloed heeft nu de aanwezigheid van een barst in het oppervlak van de draad op de impedantieverandering van de spoel? We zullen alleen de invloed op de weerstandsverandering onderzoeken, omdat voornamelijk deze een rol speelt in de metingen met het straks te beschrijven apparaat.

De stroom in de draad is, zoals we zagen, vrijwel beperkt tot een dunne oppervlaktelaag met de dikte δ (*fig. 2a*). De weerstand van dit laagje (per meter lengte van de draad) is $2\pi \, a \, \varrho/\delta$ ohm, welke uitdrukking men in formule (5) terugvindt. Bij de aanwezigheid van één enge barst (ter diepte ε) mogen we, als benadering, wel aannemen, dat het stroomlaagje zich om de barst heenbuigt, zodat de weerstand ervan zou bedragen $(2\pi a + 2\varepsilon) \, \varrho \cdot \delta^{-1}$ ohm. Men mag dus verwachten, dat als gevolg van de barst de weerstand R' in de verhouding $(\pi a + \varepsilon)/\pi a$ zal toenemen.

Nemen we nu weer de boven beschouwde molybdeendraad met een straal van 0,75 mm als voorbeeld en denken we ons daarin een langs de gehele lengte doorlopende barst van 0,1 mm diepte, dan zal daardoor de weerstandsvermeerdering R' met 152 ohm, d.i. met ongeveer 4% toenemen. De totale spoelweerstand, gevormd door R en R' in serie (42700 ohm + 3576 ohm), neemt dus $^1/_3$ % toe.

Verdere uitwerking van de methode

Het komt er nu maar op aan de spoel op te nemen in een schakeling die het mogelijk maakt veranderingen in de impedantie der spoel van de gegeven orde van grootte met voldoende nauwkeurigheid te constateren.

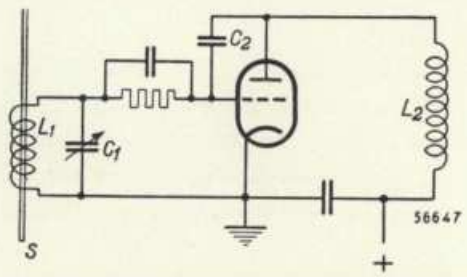


Fig. 3. Principeschakeling van het apparaat voor draadonderzoek. De te keuren staaf of draad S wordt geschoven in de spoel L_1 die tezamen met een instelbare condensator C_1 is opgenomen in de roosterkring van een radiobuis. L_2 is de spoel van de anodekring en C_2 een terugkoppelcondensator.

Men kan hiervoor o.a. een hoogfrequent brugcircuit of een oscillatorcircuit gebruiken. We hebben de tweede schakeling gekozen en de spoel opgenomen in de roosterkring van een oscillator, waarbij op de gebruikelijke manier een roostercondensator met lekweerstand is aangebracht. In tegenstelling met bekende methoden werd als maat voor de verandering van de impedantie der spoel niet de frequentieverandering van de oscillator gebruikt, maar de invloed die de impedantieverandering heeft op de stuurroosterstroom. Daartoe werd de in *fig. 3* getekende principeschakeling toegepast.

De roosterkring wordt hierbij gevormd door de spoel L_1 (waarbinnen zich de te onderzoeken staaf bevindt) en een condensator C_1. De anodekring bevat alleen een spoel L_2, terwijl de terugkoppeling

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

via de rooster-anode-capaciteit van de buis vergroot wordt door een extra terugkoppelcondensator C_2.

Bij een dergelijke schakeling is de grootte van de stuurroosterstroom in eerste instantie evenredig met de sperweerstand $L_1/(R+R')C_1$ van de kring. Indien $R+R'$ met $^1/_3$ % toeneemt, zoals hierboven voor een bepaald geval werd berekend, dan heeft dit tot gevolg, dat de sperweerstand met $^1/_3$ % afneemt en ook de roosterstroom van de oscillator met vrijwel $^1/_3$ % afneemt.

Bij het in dit artikel beschreven apparaat bedraagt de roosterstroom 2 mA. Een barst in de staaf die een weerstandsverandering van $^1/_3$ % ten gevolge heeft, veroorzaakt daarbij dus een vermindering van de stroom van de orde van 7 μA.

Om dergelijke kleine stroomvariaties voldoende nauwkeurig te kunnen waarnemen, werd een compensatieschakeling toegepast die de stroom door het meetinstrument van 2 mA terugbrengt tot 100 μA.

Met behulp van deze schakeling kan men de aanwezigheid van barsten van de orde van grootte van 0,1 mm diepte zonder moeite vaststellen. Bij de aanwezigheid van diepere barsten zal men natuurlijk een naar verhouding grotere variatie van de stroomsterkte constateren.

Beschrijving van het apparaat

De inrichting van het instrument blijkt uit het schakelschema, dat in *fig. 4* is afgebeeld. Hierin is L_1 de meetspoel en C_6 de roosterkringcondensator;

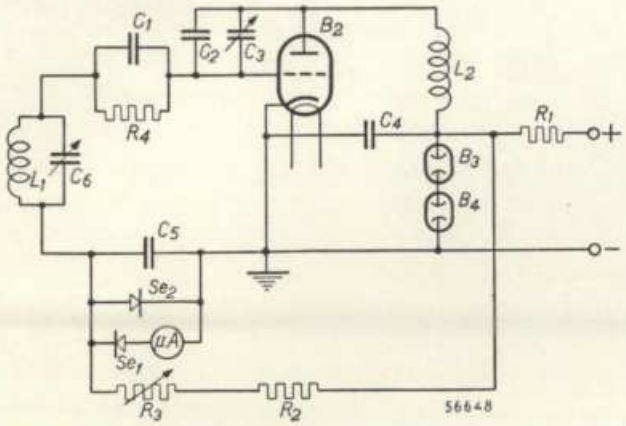


Fig. 4. Schakelschema van het apparaat voor draadonderzoek. B_2 is de buis, in de roosterkring waarvan de meetspoel L_1 is opgenomen, $B_{3,4}$ zijn stabiliseerbuizen, L_2 is de anodespoel, Se_1 en Se_2 zijn seleniumcellen.

R_4 en C_1 zijn resp. de lekweerstand en de roostercondensator, terwijl C_2 en C_3 samen de terugkoppelcondensator vormen. De spoel L_2 is de anodesmoorspoel. De condensatoren C_4 en C_5 dienen om resp. de anode- en de roostergelijkstroomketen te ontkoppelen.

De stroomvariaties worden afgelezen op de micro-ampèremeter, nadat er door instellen van de condensatoren C_6 en C_3 voor gezorgd is dat het oscilleren op de juiste wijze gebeurt. De oscillatorbuis B_2 is een triode, waarvan de roosterstroom op ca 2 mA is ingesteld. De reeds genoemde compensatieschakeling bewerkt, dat hiervan slechts een klein gedeelte (100 μA) door de micro-ampèremeter gaat. De roosterstroom loopt van het rooster via kathode, micro-ampèremeter, seleniumcel Se_1 door L_1 en R_4 naar het rooster terug. De compensatiestroom zou, als Se_1 werd weggenomen, van + door R_1, R_2, R_3 en in tegengestelde richting door de ampèremeter naar — lopen. Het resultaat is dan een verschilstroom in de doorlaatrichting van de seleniumcel.

De weerstand R_3 is verstelbaar om daarmede de compensatiestroom zo te kunnen wijzigen, dat voor verschillende staafdiameters op de μA-meter een goed afleesbare stroomwaarde kan worden ingesteld.

Daar de roosterstroom behalve van de roosterkringimpedantie ook afhankelijk is van de anodegelijkspanning, is in de gelijkrichter voor de anodevoeding een spanningsstabilisator aangebracht, die bestaat uit twee stabiliseerbuizen B_3 en B_4 met een weerstand R_1.

De buis die in het plaatstroomapparaat als gelijkrichter dienst doet, heeft een langere tijd nodig om warm te worden dan B_2. Dit is van belang, omdat daardoor vermeden wordt, dat het compensatiecircuit zou gaan werken, voordat de oscillator stroom levert. In dat geval zou bij het inschakelen de μA-meter gemakkelijk overbelast kunnen worden.

Nog op een andere wijze is de micro-ampèremeter tegen overbelasting beveiligd. Bij het uitschakelen neemt de roosterstroom sneller af dan de compensatiestroom. De gelijkrichtcel Se_1 belet dan het vloeien van de compensatiestroom door de μA-meter, terwijl de gelijkrichtcel Se_2 nog een extra shunt voor de lekstroom van Se_1 vormt.

In *fig. 5* is het apparaat in werking afgebeeld.

Toepassingen

Het hier beschreven apparaat is, zoals in de inleiding van dit artikel reeds is medegedeeld, ontwikkeld voor het onderzoek van doorvoerpennen van electroden bij electronenbuizen. Deze zijn meestal vervaardigd van molybdeen of wolfraam, in staafvorm met diameters van ca 0,75 tot 2,5 mm. Behalve dergelijke op maat gesneden pennen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

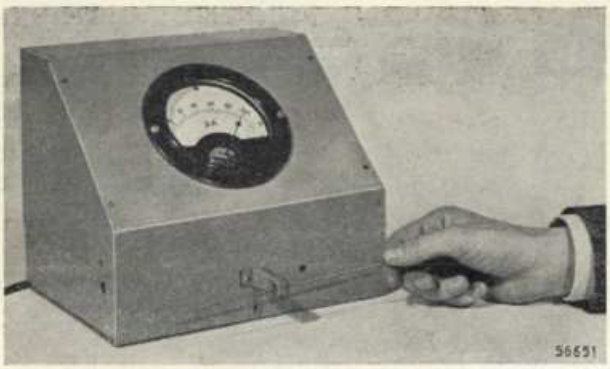


Fig. 5. Een foto van het in dit artikel beschreven apparaat, in gebruik voor het keuren van een draad.

kunnen ook de staven of draden waaruit zij gemaakt worden in hun geheel door het toestel worden getrokken. Men bespaart daardoor slijp- en snijkosten, omdat dan natuurlijk de slechte draadgedeelten niet verder verwerkt worden. Bij het onderzoek van dikkere doorvoeringen kan een speciale wijde meetspoel worden aangebracht, waarmede staven tot een diameter van 6 mm kunnen worden gekeurd.

Het apparaat is ook van veel nut gebleken bij het keuren van wolfraam gloeidraden voor grote zendbuizen. Het is daarbij aan het licht gekomen, dat de gloeidraadbreuk die vroeger nu en dan optrad, o.a. veroorzaakt werd door zeer langgerekte barsten die bij sommige van deze gloeidraden voorkomen. Daarom worden tegenwoordig ook deze draden, voordat zij op maat geknipt zijn, in hun geheel door het apparaat getrokken.

Het onderzoek van draden met ferromagnetische eigenschappen is met het beschreven toestel niet mogelijk, omdat plaatselijke variaties in permeabiliteit zoveel veranderingen in de uitslag van de meter geven, dat die ten gevolge van de aanwezigheid van barsten niet opgemerkt kunnen worden.

Behalve voor het onderzoek van barsten is het toestel ook geschikt voor het aantonen van variaties in het dwarsprofiel van een staaf of draad, mits hiermede een variatie in de omtreklengte gepaard gaat. Plaatselijke verdikkingen of verdunningen kunnen dus op deze wijze worden aangetoond. Het is daarbij niet nodig, dat de normale staaf een rond profiel heeft.

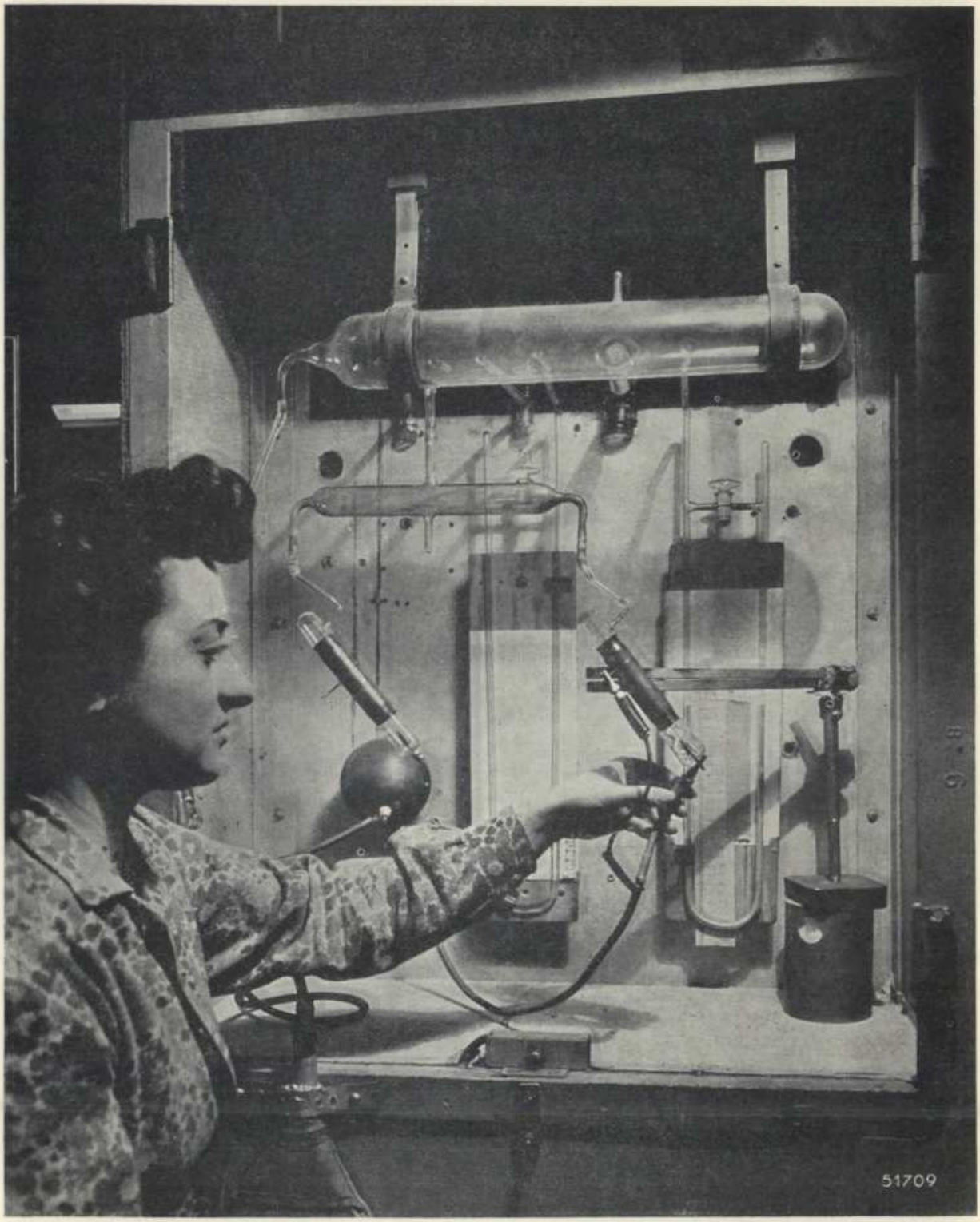
Een andere toepassing is nog het sorteren van pennen van gelijke afmetingen, maar waarvan de materiaaleigenschappen uiteenlopen. Pennen van afwijkende samenstelling kan men gemakkelijk met het beschreven apparaat selecteren, dank zij de afwijkende waarde van hun soortelijke weerstand.

Samenvatting. Voor de goede werking van electronenbuizen is het noodzakelijk dat de doorleidingen door het glas aan hun oppervlak geen fijne barsten bevatten. In dit artikel wordt een apparaat beschreven waarmede de aanwezigheid van zulke barsten kan worden vastgesteld. De te onderzoeken staaf (of draad) wordt daartoe geplaatst in een meetspoel waar een hoogfrequente wisselstroom door gaat. Is een barst aanwezig, dan zal de impedantie van de spoel een andere waarde hebben dan bij een gave staaf. Om dat te kunnen constateren is de spoel opgenomen in de roosterkring van een oscillator. De grootte van de impedantieverandering wordt afgeleid uit de invloed die deze heeft op de stuurroosterstroom. De methode is voldoende nauwkeurig om barsten van ongeveer 0,1 mm diepte op te sporen. Het gebruik van het beschreven apparaat behoeft niet beperkt te blijven tot de keuring van doorleidingen; het kan ook in andere gevallen worden toegepast om de bruikbaarheid van draden te controleren.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

HET POMPEN VAN GEIGER-TELBUIZEN



Op de foto is een etappe te zien van de fabricage van Geiger-telbuizen in een der Amerikaanse Philips-fabrieken. Deze buizen, die men gebruikt voor de meting van röntgen- en andere stralingsintensiteiten, worden na evacueren gevuld met argon of andere gassen. Het vullen met gas wordt gecontroleerd door de buis op een hoogspanningsbron aan te sluiten en het aantal impulsen te tellen dat door een radioactief standaardpreparaat wordt veroorzaakt. Op de achtergrond ziet men buffer-reservoirs voor het vulgas en manometers voor het instellen van de gewenste gasdruk.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

KUNSTSCHILDEREN MET FLUORESCERENDE VERVEN

door J. L. H. JONKER en S. GRADSTEIN. 667.65:667.624.48:535.612

De overlevering wil dat in China omtrent het jaar 1000 onzer jaartelling een schilderij van een Japans kunstenaar bestond, voorstellende een os, die overdag onzichtbaar was maar in het donker zichtbaar werd doordat hij licht uitstraalde. Het schilderen met luminescerende stoffen is dus in feite tamelijk oud. Intussen kan het den maker van dat schilderij alleen om het geheimzinnige nalichten te doen geweest zijn. Bij het experiment dat in het onderstaande artikel wordt beschreven, was het niet hierom begonnen doch om het benutten van de levendige kleuren, die fluorescerende stoffen onder ultraviolette straling vertonen. Men heeft hier verfstoffen met een selectieve emissie, terwijl de verfstoffen van alle gebruikelijke schildertechnieken gekarakteriseerd worden door een selectieve absorptie en reflectie. De consequenties van dit verschil, zowel voor de practische uitvoering van het genoemde experiment als voor de eventuele artistieke waarde van de nieuwe schildertechniek, worden in dit artikel toegelicht.

Het ruime gebruik dat tegenwoordig van fluorescerende stoffen wordt gemaakt voor diverse industrieproducten (TL-lampen, kathodestraalbuizen, enz.), heeft de ontwikkeling van tal van nieuwe stoffen van dit soort bevorderd. De mooie kleuren en het hoge lichtrendement van vele dezer nieuwe stoffen hebben, omgekeerd, stimulerend gewerkt op het zoeken naar verdere toepassingsmogelijkheden. Een voorbeeld hiervan dat in hoge mate de publieke belangstelling gaande heeft gemaakt, is de toepassing voor decoratieve doeleinden. Toneeldecors, costuums, of allerlei voorwerpen die op tentoonstellingen of in etalages de aandacht moeten trekken, worden met fluorescerende stoffen beschilderd. Werpt men dan op de scène of het voorwerp, met uitsluiting van alle zichtbare licht, de onzichtbare ultraviolette straling van een kwiklamp, dan ontstaan verrassende effecten, doordat de voorwerpen zelf in allerlei felle kleuren schijnen te lichten.

Het is een voor de hand liggende verdere stap, fluorescerende stoffen aan te wenden voor het maken van een schilderij. Bij wijze van experiment heeft een der schrijvers (J. L. H. J.) deze stap gewaagd. Van het resultaat, dat o.a. vertoond is op een vergadering te Parijs van de „Commission Internationale de l'Eclairage" (Juni 1948), geeft *fig. 1a* een kleurenreproductie. In hetgeen volgt, mogen enkele opmerkingen worden gemaakt over de artistieke aspecten en de practische problemen van deze nieuwe techniek in de schilderkunst.

De wereld, die de kunstschilder weergeven wil — gesteld dàt hij dit wil —, is uit physisch oogpunt gekenmerkt door verschillen in kleur en helderheid van de voorwerpen die het oog waarneemt. In de gangbare technieken, zoals het aquarelleren, het pasteltekenen, het schilderen met olieverf, heeft de schilder op zijn palet een voldoende verscheidenheid van verven om de kleursoorten die in de natuur voorkomen, goed te kunnen weergeven. Wat de helderheden betreft, staat hij er veel minder gunstig voor. Het is evident dat men geen getrouwe nabootsing van de grote helderheid van allerlei lichtbronnen kan verwachten: niemand zal de schilder een verwijt er van maken dat een geelachtige ronde vlek op het doek, die de zon moet voorstellen, slechts een povere suggestie is van het stralende hemellichaam zelf. Maar al zien we af van de grote helderheden van lichtbronnen, dan nóg behoort een getrouwe weergave van de schaal der helderheden bij de meeste onderwerpen tot de onmogelijkheden. Het is niets uitzonderlijks, als bij een onderwerp binnenshuis de „helderheidsomvang", d.i. het quotient van grootste en kleinste

Tabel I. Gemeten helderheidsomvang (verhouding van grootste tot kleinste plaatselijke helderheid) van verschillende objecten [1]).

Object	Lichtste partij	Donkerste partij	Helderheidsomvang
Openluchtscène	Wit huis in de zon	Zwarte kat in schaduw	90
Huiskamer	Licht behang in de zon	Zw. schoorsteenmantel in schaduw	5000
Huiskamer	Licht behang in diffuus daglicht	Zw. schoorsteenmantel in schaduw	80
Bioscoopbeeld (ter vergelijking)	—	—	25-80

[1]) Ontleend aan General Electric Review **48**, September 1945, pag. 18.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

voorkomende helderheid, een factor 1000 of nog meer bedraagt; in de open lucht is de helderheidsomvang, dank zij de sterk egaliserende invloed van de diffuse verlichtingsbijdrage van de hemelkoepel, meestal kleiner (zie *tabel I*), maar bij aanwezigheid van glas- of wateroppervlakken die reflexen leveren, zal ook hier de omvang ver boven 1000 kunnen zijn. Het grootste verschil daarentegen de oneffenheden vermijdt; enz. Wanneer er gesproken wordt over de „weergave van het licht" door een Leonardo da Vinci, een Rembrandt of een der grote Impressionisten, dan moet men zich realiseren dat men in feite telkens te maken heeft met een speciale wijze om met de beperkte helderheidsschaal te woekeren en er de hoogste artistieke effecten mee te verwezenlijken.

a

b

Fig. 1. Reproductie van het fluorescerende schilderij
a) bij belichting met ultraviolette straling,
b) bij belichting met daglicht.
In het geval (*a*) dienden twee „Biosol"-kwiklampen als stralingsbronnen. Vóór de lampen waren filters geplaatst van nikkeloxyde-glas, dat vrijwel alle zichtbare straling tegenhoudt. Vóór de lens van het fototoestel daarentegen was een filter aangebracht dat de ultraviolette straling absorbeert. Dit laatste was nodig omdat het schilderij een groot gedeelte van de er op vallende ultraviolette straling weerkaatst en de fotografische plaat ook hiervoor gevoelig is.
Door de reproductie kan de specifieke indruk die het fluorescerende schilderij onder ultraviolette bestraling op de beschouwer maakt, principieel niet ten volle worden weergegeven. Waarom niet, wordt in de tekst toegelicht.

dat de schilder tussen licht en donker kan verwezenlijken, bedraagt, al naar gelang van de gekozen techniek, slechts een factor 20 à 50; vgl. *tabel II*.

De kunstenaar voelt deze tekortkoming zeer wel en tracht er op allerlei manieren in te voorzien. Om een kleurvlek helderder te doen schijnen, kiest hij contrasterende kleuren voor de aangrenzende gedeelten van het schilderij (blauwe schaduwen tegen gele lichten) of hij tempert de helderheid daarvan. Het effect van reflexen verhoogt hij, door het zuivere wit, dat hij hiervoor gebruikt, nog met een paletmes vlak te strijken, waardoor hij slagschaduwtjes van

Tabel II. Helderheidsomvang bij verschillende schildertechnieken. Gemeten werd de helderheid, in relatieve maat, van het helderste wit en het donkerste zwart van elke techniek (bij eenzelfde verlichtingssterkte voor alle vier technieken). Elke kleur was in een goed dekkende laag aangebracht op een vlak van ongeveer 10 cm × 10 cm.

Techniek	Ondergrond	Helderheid wit	Helderheid zwart	Helderheidsomvang
Aquarel	wit papier	4,58	0,211	22
Pastel	grijs papier	4,35	0,112	39
Gouache	wit papier	5,85	0,130	45
Olieverf	schildersdoek	4,45	0,096	46

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het heeft ook niet ontbroken aan pogingen om daadwerkelijk de helderheidsomvang van een schilderij op te voeren. Wellicht een der oudste bekende gevallen is dat van de schilder Mariotto Albertinelli, die omstreeks 1500 te Florence werkte. Vasari [2]) vertelt, hoe deze man zich inspande om door diepe schaduwen een sterke plastische werking te verkrijgen, terwijl hij toch in de schaduwen nog details tot hun recht wilde laten komen. Toen dit niet goed gelukte, ook niet na transponeren van het stuk naar hogere of lagere helderheden, kwam hij tot het (zeer juiste) inzicht, dat hij dan moest proberen een helderder wit voor de hoge lichten te vinden, en zo zette hij zich — overigens zonder succes — er toe het loodwit van die tijd beter te zuiveren.

Sommige schilders hebben getracht het probleem op te lossen door op de plaatsen van de hoge lichten kleine spiegels van glas of metaal op het doek te plakken, die dan gedeeltelijk onder de verf werden verwerkt. Het is duidelijk dat het effect van deze kunstgreep sterk afhankelijk zal zijn van de richting van het opvallende licht en daardoor in het algemeen niet kan bevredigen.

Uit het oogpunt van het probleem der helderheden nu verdient het schilderen met fluorescerende verven onze belangstelling. Weliswaar moet men niet verwachten dat de fluorescerende verf-vlekken op het doek een grotere helderheid zouden kunnen vertonen dan (bij normale verlichtingssterkten) de verven van een normaal schilderij. Het prae van een fluorescerend schilderij ligt veeleer, om het paradoxaal te zeggen, in de niet fluorescerende gedeelten, in en rondom het schilderstuk. Deze gedeelten kunnen, als men generlei vreemd licht op het schilderij laat vallen en het zichtbare licht van de bestralende kwiklamp door een filter onderschept, vrijwel volmaakt zwart zijn. De helderheidsomvang van het fluorescerende schilderij kan dan theoretisch de waarde oneindig krijgen! Inderdaad kunnen we de tekortkoming van de normale schildertechnieken, wat de helderheidsomvang betreft, ook uitdrukken door de constatering dat hun „zwart" nooit zo heel zwart is. Het komt meestal overeen met een reflectievermogen van 2 à 5%, waaruit dan voor de helderheidsomvang een bovenste grens van ca 50 volgt (nl. als het „wit" 100% zou reflecteren).

Aan het fluorescerende schilderij werd een helderheidsomvang gemeten van ca 130. Dat de theoretische waarde, oneindig, niet wordt bereikt, komt door twee samenwerkende oorzaken. Ten eerste laat het filter voor de kwiklamp (een nikkeloxyde-glas) een weinig rood en violet, dus zichtbaar, licht door, en het menselijk oog is ook niet geheel ongevoelig voor de ultraviolette kwiklijn met golflengte 3650 Å, die de fluorescentie teweegbrengt. Ten tweede zal de ondergrond van het schilderij (en de lijst enz.), ook al fluoresceert hij in het geheel niet, het ultraviolet en het violet en rood steeds in zekere mate reflecteren en dus voor het oog een zekere, zij het zeer kleine, helderheid bezitten. In ons geval was de situatie in dit opzicht zo ongunstig mogelijk, daar als ondergrond voor het schilderij normaal linnen met een wit krijtfond werd gebruikt. Het witte krijt is in het gefilterde kwiklicht door de reflectie veel minder „zwart" dan men zou verwachten. Toch is, blijkens de genoemde waarden, ten opzichte van de normale schildertechnieken reeds een factor 3 à 4 in helderheidsomvang gewonnen. Een proef met een in het zichtbare licht zwarte (en ook niet fluorescerende) ondergrond toonde aan, dat hierbij gemakkelijk een helderheidsomvang van meer dan 1400 kon worden verwezenlijkt (de helderheid van het „zwart" onder ultraviolette bestraling viel beneden de gevoeligheid van de gebezigde meetopstelling)!

Bij de grote helderheidsomvang komt nu nog een ander punt. Voor de normale schildertechnieken is er geen bezwaar tegen, het begrip „helderheidsomvang" te vertalen met het meer huiselijke „verschil van helderste wit en donkerste zwart". Voor het schilderen met fluorescerende verven echter zou deze vertaling onjuist zijn. Hier doet zich nl. het merkwaardige feit voor, dat sommige kleuren helderder zijn dan het helderste mogelijke wit! Dit feit, dat uit artistiek oogpunt natuurlijk ook heel belangrijk kan zijn, kan men als volgt begrijpen.

Een normaal pigment dankt zijn kleur aan het absorberen van een specifiek deel van het spectrum van het er op vallende licht. Hoe verzadigder kleur men wil krijgen, des te smaller spectraal gebied mag het pigment reflecteren (of doorlaten). Dientengevolge zal de totale remissiecoëfficient van een pigment, en daarmee bij gegeven verlichtingssterkte ook zijn helderheid, kleiner moeten zijn naarmate de kleur meer verzadigd is [3]); zie *fig. 2*. Het helderste kan de kleur met verzadiging nul zijn, dat is het wit.

Een fluorescerend pigment daarentegen dankt zijn kleur aan het feit dat het de stralingsenergie, die het opnam, met een specifiek spectrum

[2]) G. Vasari, Le vite de' più eccellenti architetti, pittori e scultori, Florence, Torrentino 1550.

[3]) Een heldere uiteenzetting hierover vindt men in het boek van P. J. Bouma, Kleuren en kleurindrukken, Philips Technische Bibliotheek, uitg. Meulenhoff Amsterdam 1946; zie §§ 46 en 47.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

emitteert. Het rendement van de energie-omzetting is, dank zij de vorderingen der preparatieve chemie, tegenwoordig zeer hoog (quantum-rendement ca 80%) en vrijwel onafhankelijk van het spectrum van het fluorescentielicht. Bij gegeven ultraviolette verlichtingssterkte zal dus, wat energie betreft, een pigment met zeer verzadigde fluorescentiekleur (smal emissiespectrum) ruwweg evenveel kunnen emitteren als een wit fluorescerend pigment, waarvan het emissiespectrum het gehele zichtbare golflengtegebied of grote delen daarvan beslaat. Ligt nu de smalle emissieband van het eerstgenoemde pigment nabij het maximum van de ooggevoeligheidskromme (5550 Å, in het geelgroen), dan levert de gegeven energie een zeer hoge helderheid, waartegenover het wit fluorescerende pigment noodzakelijk een deel van de beschikbare energie in minder gunstig gelegen spectrale gebieden moet emitteren en dus in helderheid achterblijft. De in *fig. 3* weergegeven spectrale verdelingskrommen voor drie olieverven en drie ongeveer daarmee overeenkomende fluorescerende verven demonstreren dit duidelijk.

Het strookt met deze beschouwingen, dat de hierboven vermelde waarde van 130 voor de helheidsomvang van het fluorescerende schilderij gevonden werd door vergelijking van het donkerste zwart met het helderste (nog vrij weinig verzadigde) groen. Een vergelijking van zwart en wit leidde tot de kleinere factor 100. Deze getallen vormen een bevestiging voor wat het oog bij het bekijken van het schilderij dadelijk ziet: het zijn de „gloeiende" verzadigde kleuren, naast de grote helderheidsomvang, die het stuk zijn eigen karakter geven.

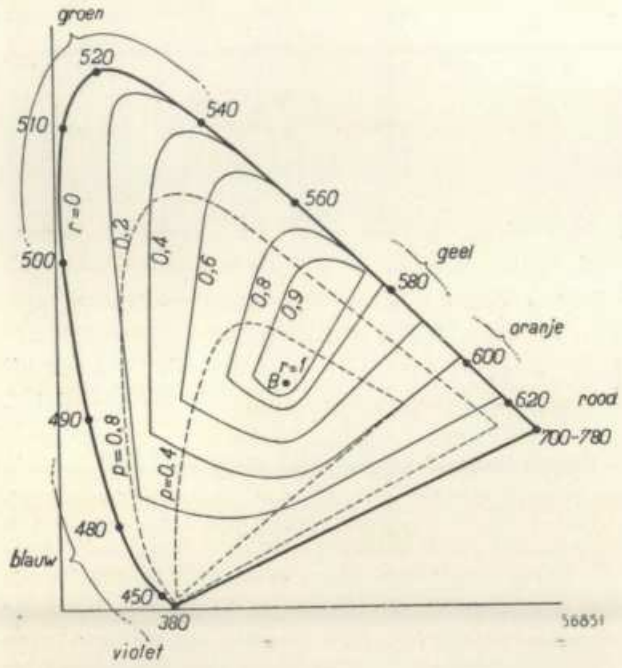


Fig. 2. In de kleurendriehoek is er voor elk punt, gekenmerkt door kleurtoon en verzadigingsgraad, een maximale totale remissiefactor r die theoretisch kan worden bereikt. (Het pigment met dat kleurpunt moet hiervoor een spectrale remissiekromme van bepaalde vorm bezitten.) In de figuur, die geldt voor verlichting van de pigmenten met zonlicht (zg. standaardwit B), verbindt elke getrokken lijn alle punten met een bepaalde waarde van r. Gestippeld zijn twee lijnen van constante verzadigingsgraad ($p = 0{,}4$ en $p = 0{,}8$, volgens definitie van de C.I.E. 1948) aangegeven. Men ziet, dat in een normaal schilderij de verzadigde kleuren (kleurpunten nabij de kromme der spectrale kleuren) slechts veel minder helder kunnen worden gemaakt dan het wit (verzadiging 0, kleurpunt B).

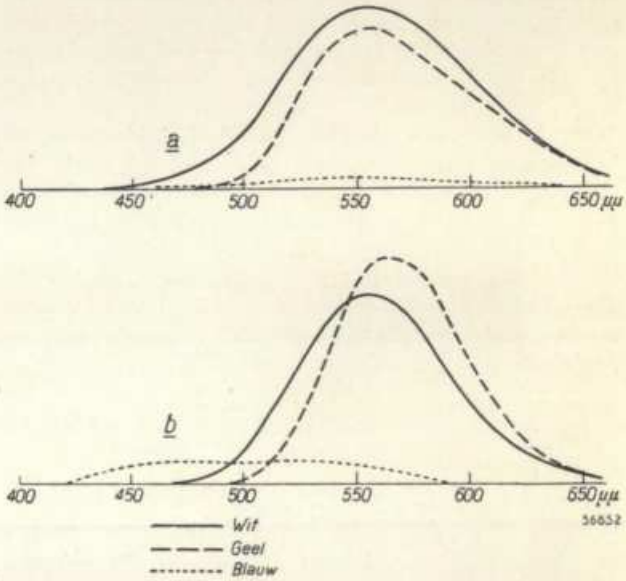


Fig. 3. *a*) Voor drie normale olieverven: wit, geel en blauw, werd de spectrale verdeling der remissie gemeten. Uitgezet is voor elke golflengte het product van de spectrale reflectiecoëfficient en de relatieve ooggevoeligheid. Hierdoor is het oppervlak onder elke kromme rechtstreeks een maat voor de helderheid (bij verlichting door een lichtbron met gelijkmatige energieverdeling, standaardwit E). De kromme voor „wit" ligt overal hoger dan de andere krommen en omsluit dus ook het grootste oppervlak. De verschillen in het verloop der krommen zijn weinig uitgesproken, de kleuren zijn niet zeer verzadigd.

b) Hetzelfde voor drie fluorescerende pigmenten, met ongeveer dezelfde kleuren wit, geel, en blauw. Uitgezet is het product van de spectrale emissiecoëfficient en de relatieve ooggevoeligheid. Zowel de kromme voor geel als die voor blauw liggen gedeeltelijk hoger dan die voor wit. De kleuren zijn sterker verzadigd dan in (*a*), maar tevens helderder in verhouding tot het wit. De kromme voor geel omsluit zelfs een groter oppervlak dan die voor wit.

Na het bovenstaande zal het wel nauwelijks nodig zijn er op te wijzen, dat de reproductie in fig. 1*a* principieel niet in staat kan zijn de indruk die het fluorescerende schilderij maakt, ten volle weer te geven. De helderheidsomvang van een dergelijke reproductie is immers nog kleiner dan die van een normaal schilderij, hij bedraagt gewoonlijk niet meer dan 10 à 12. Wat de grote relatieve helderheid der verzadigde kleuren betreft, deze eigenschap kan men in de reproductie tot op zekere hoogte terugvinden als men al het „natuurlijke" wit (en ook alle glimmende voorwerpen of vlakken) uit de omgeving van de reproductie verwijdert of bedekt. Doet men dit niet, dan zal, door vergelijking met het natuurlijke wit, het helderste „wit" in de reproductie een grijze indruk maken en het bijzondere van de verzadigde kleuren niet worden opgemerkt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Met dezelfde voorzorgen kan ook in de normale schildertechnieken het effect van de heldere verzadigde kleuren worden verkregen: al het wit moet opzettelijk worden gedempt. Zeer frappant kan het effect hiervan zijn in de glasschilderkunst, waar de situatie gunstig is om de vermelde averechtse indruk, nl. dat de beschouwer alleen het dempen van het wit zelf opmerkt, te vermijden: de lichtbron staat achter het gebrandschilderde raam, de omgeving is, als men zorgt dat het raam geen onbeschilderde of te heldere ruitjes bevat, vanzelf voldoende getemperd. Bovendien is het temperen van het wit in het schilderij, dat bij de normale schildertechnieken een onaangename verdere beperking van de toch al kleine helderheidsomvang zou betekenen, bij glasschilderingen heel goed aanvaardbaar. In doorzicht bekeken beelden hebben immers de eigenschap dat hun helderheidsomvang veel groter kan zijn dan die van beelden die in gereflecteerd licht worden gezien [4]).

Deze dubbele overeenkomst: grote helderheidsomvang en, bij sommige ramen, stralende diepe kleuren, maakt het begrijpelijk, dat bij het zien van het fluorescerende schilderij de meeste beschouwers de opmerking maken dat het effect sterk doet denken aan dat van een gebrandschilderd raam. De verdeling van het vlak met brede zwarte strepen, die de grote bereikbare tegenstelling tussen licht en donker moesten demonstreren, werkt ongetwijfeld de suggestie van het „glas-in-lood" nog in de hand.

Nu iets over de techniek van het schilderen met fluorescerende verven.

In *tabel III* geven we een lijstje van de fluorescerende poeders die bij het vervaardigen van het schilderij werden gebruikt. Zij waren alle gekozen uit het zink-cadmiumsulfide-systeem met zilver als activator, dus van het type [x Zn.(1—x) Cd] S-Ag, met verschillende verhoudingen x:(1—x) van zink en cadmium. De spectrale verdeling van het fluorescentielicht van dit systeem vertoont een vrij scherp maximum, waarvan de ligging (golflengte λ_{max}) in wijde grenzen door de keuze van x kan worden gevarieerd, zoals in de tabel is te zien.

Het aantal gebruikte grondkleuren zal misschien klein worden geacht, als men het meet aan de enorme gevarieerdheid van de verven waarover de schilder bijv. bij de normale olieverftechniek kan beschikken. De beperking was echter vrijwillig. Door verdere variatie van x en door gebruik van nog andere fluorescerende systemen zou men het aantal grondkleuren willekeurig kunnen uitbreiden, zodat het gemakkelijk zou kunnen wedijveren met de rijkdom aan olieverven. Zelfs de grootste practisch mogelijke verscheidenheid van grondkleuren zal echter de schilder niet ontheffen van de noodzaak om, door het mengen van verven, tussentinten te produceren. Alleen zo kan hij de oneindig variërende tinten die in de natuur voorkomen, weergeven, elke toets nauwkeurig ten opzichte van het geheel afstemmen, en een „vibratie" in de kleur scheppen, die onmisbaar is om elk vlak in het schilderij levendig te laten werken. Aangezien het mengen dus toch onvermijdelijk blijft, is het aantal grondkleuren dat men wil gebruiken in hoofdzaak een kwestie van gemak, van gewoonte en misschien van „manier". Weinig kunstschilders gebruiken meer dan 20 à 30 olieverven, sommigen beperken zich opzettelijk tot 10 of nog minder. Voor eerste kennismaking met de nieuwe techniek bleek dan ook het geringe aantal fluorescerende verven van ons lijstje geheel voldoende.

Tabel III. Fluorescerende pigmenten die voor het schilderen werden gebruikt. Alle zijn van het systeem [x Zn . (1—x) Cd] S-Ag, en elk pigment is dus gekarakteriseerd door de waarde van x. Bij de golflengte λ_{max} ligt de top van de spectrale verdeling der fluorescentie van elk pigment.

x	Fluorescentiekleur		Kleur in daglicht
	λ_{max} (mμ)	kleur	
1,00	460	blauw	wit
0,85	492	groenblauw	wit
0,77[5]	514	groen	wit
0,68	541	geelgroen	wit
0,58	570	geel	lichtgeel
0,50	600	oranje	matig geel
0,39	630	oranjerood	geel
0,33	655	rood	oranje

Hoewel dus het mengen van verven tot de normale bezigheden van de schilder behoort, ziet hij zich bij het mengen van fluorescerende verfstoffen voor allerlei verrassingen geplaatst. In de eerste plaats is de menging hier niet subtractief, zoals bij alle gebruikelijke schildertechnieken, doch additief.

Dit feit is op zichzelf natuurlijk niet nieuw, maar het is in dit verband misschien toch aardig er wat nader op in te gaan.

Bij het aquarelleren brengt men de te mengen verven achtereenvolgens in dunne, transparante lagen op de gewenste plaats aan. Het opvallende licht doorloopt na elkaar alle lagen, wordt aan de ondergrond gereflecteerd en doorloopt de lagen nog eens vóór het uittreedt (*fig. 4a*). In elke laag ondergaat het de selectieve absorptie, die de zichtbare kleur van die laag bepaalt, zodat ten slotte in het uittredende licht alleen die gedeelten van het spectrum zijn overgebleven die door géén der lagen noemenswaard worden geabsorbeerd. Dit is dus subtractieve menging. Bij pastelkleuren staat de zaak iets anders. Verschillende gekleurde krijtsoorten (krijtkorrels met geadsorbeerde pigmentkorreltjes) worden op het papier gebracht en, bijv. met de vinger, innig dooreengewreven. Een op de tekening vallende lichtstraal zal in de microscopische opeenhoping van gekleurde korrels die zich op een plaats bevinden, enige keren gereflecteerd (verstrooid) worden alvorens hij het papieroppervlak weer verlaat (fig. 4*b*). Bij elke korrel

[4]) Dit feit is welbekend uit de fotografie, waar met een maximale helderheidsomvang van ca 30 voor positieve afdrukken op papier en met een omvang ca 100 of, voor sommige gevallen, zelfs 1000 voor diapositieven kan worden gerekend.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wordt het spectrum door de selectieve reflectie, die de kleur van die korrel bepaalt, in een bepaald gedeelte verzwakt, en het uittredende licht bevat alleen nog die spectrale gedeelten die door géén der aanwezige korrelsoorten bij de reflectie worden achtergehouden. Ook hier dus subtractieve menging: elke component draagt tot de eindkleur bij door zekere spectrale gedeelten weg te nemen. Bij het mengen van olieverven is de situatie enigszins analoog als bij pastelverven, alleen is de menging hier inniger, daar men te maken heeft met suspensies van uiterst kleine pigmentkorreltjes in de lijnolie; de mengkleur kan daardoor homogener zijn.

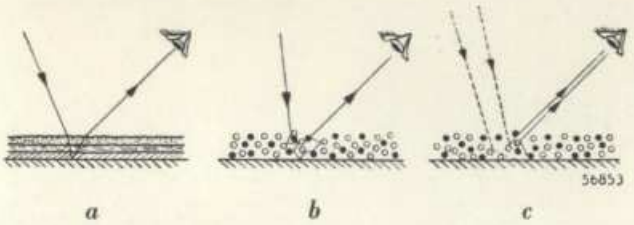


Fig. 4. *a*) Bij het aquarelleren ontstaat een mengkleur doordat verschillende transparante verflagen over elkaar worden gelegd, die elk bij de transmissie van het licht een specifiek gedeelte van het spectrum verzwakken: subtractieve menging. (Elke laag bestaat in feite uit talloze pigmentkorreltjes; dit is hier eenvoudigheidshalve niet aangeduid.)
b) Bij het pasteltekenen heeft men eveneens subtractieve menging: elke lichtstraal ondergaat een aantal reflecties aan de korrels der met elkaar gemengde krijtsoorten, waarbij iedere korrelsoort een specifiek gedeelte van het spectrum verzwakt. Bij het schilderen met olieverf is de situatie enigzins analoog. Hier zijn de pigmentkorrels zèlf in een suspensie door elkaar gemengd, het licht wordt in de korrels verstrooid en daarbij selectief verzwakt vóór het weer naar buiten diffundeert.
c) Bij het schilderen met fluorescerende verven ontstaat een mengkleur doordat eenzelfde netvlieselement wordt getroffen door de geëmitteerde straling van korrels van verschillende soort: additieve menging. De op de verflaag vallende ultraviolette stralen zijn gestippeld aangegeven.

Bij een mengsel van fluorescerende verven gelijkt de situatie op die bij olieverven. Er is een microscopische opeenhoping van pigmentkorrels, nu met verschillende fluorescentiekleuren (fig. 4*c*). De opvallende ultraviolette straling wordt, eventueel na herhaalde verstrooiing, door de korrels geabsorbeerd, elke korrel straalt dan zijn specifieke kleur uit, en deze gekleurde lichtstralen treden, weer na verstrooiing door andere korrels, naar buiten. Bij vele fluorescerende stoffen nu zijn de korrels „wit" (zie de eerste regels van tabel III), dwz. zij absorberen het zichtbare licht niet selectief. De gekleurde lichtstralen komen dan ongewijzigd naar buiten, en waar verschillende lichtsoorten op eenzelfde plek van het netvlies komen, telt het oog alle individuele spectrale bijdragen bij elkaar op. Dit is het wezen van de additieve menging. Zijn de pigmenten niet geheel wit (zie de laatste regels van tabel III), dan krijgen we een soort mengsel van additieve en subtractieve menging.

Bij additieve menging kan het kleurpunt van de resulterende kleur in de kleurendriehoek op eenvoudige wijze worden voorspeld uit de kleurpunten der componenten; *fig. 5a* moge dit in herinnering roepen. Voor de subtractieve menging bestaat geen dergelijke eenvoudige wetmatigheid (behalve voor sommige speciale gevallen; vgl. fig. 5*b*). Dit wil echter geenszins zeggen dat de additieve menging voor de kunstschilder eenvoudiger zou zijn dan de subtractieve. Het tegendeel is waar. Voor het mengen, zoals hij het gewend is, steunt de schilder niet op een physische wetmatigheid maar op een reeks globale regels, product van eigen en anderer ervaring. Deze regels gaan natuurlijk bij de additieve menging niet op. Zo staat de schilder verbaasd als hij bij het mengen van bijv. een geel en een blauw fluorescerende verf niet groen krijgt, zoals bij normale verven het geval zou zijn, maar een zeer onverzadigde, misschien rose, of zelfs geheel witte tint (zie fig. 5*a*). Het mengen zal dus voor hem, althans in den beginne, voortdurend verrassingen met zich meebrengen.

Laten we nog een tweede, onverwacht, technisch probleem noemen dat bij het schilderen van het fluorescerende schilderij optrad. Om de pigmenten duurzaam op het doek te kunnen brengen, moeten zij met een bindmiddel worden aangemaakt. Dit bindmiddel mag zèlf niet fluoresceren, mag de fluorescerende stoffen chemisch niet aantasten en moet bovendien allerlei schildertechnische eigenschappen bezitten. Min of meer toevalligerwijze blijkt de normale lijnolie, die in de olieverftechniek wordt gebruikt, ook aan de eerstgenoemde voorwaarden vrij goed te voldoen, zodat deze dan ook als bindmiddel werd gekozen. Nu gaat men bij de normale olieverftechniek zo te werk dat men een pigment, als het op zichzelf grof van korrel is, eerst zeer fijn maalt en het dan met de lijnolie wrijft tot een pasta. Door het zeer fijn malen krijgen de normale verven een grote dekkracht en tevens blijkt een soepele menging van twee of meer aldus verkregen verfsuspensies mogelijk, met een zeer

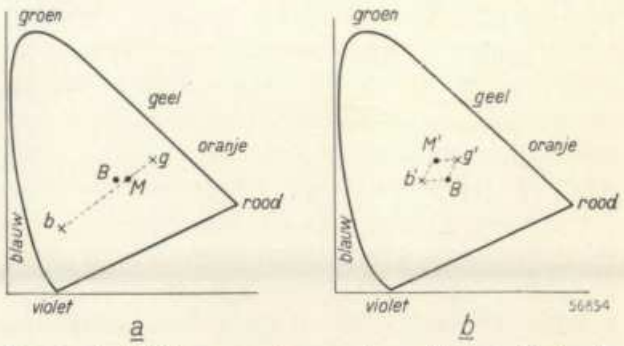


Fig. 5. *a*) Additieve menging van twee kleuren, die in de kleurendriehoek door de punten *g* en *b* worden voorgesteld. Het kleurpunt *M* der mengkleur ligt op de verbindingslijn van *g* en *b*; in het getekende geval (*g* een gele, *b* een blauwe kleur) kan bij geschikte mengverhouding de mengkleur nabij het witpunt *B* komen te liggen.
b) Voor subtractieve menging bestaat geen algemene mengwet. Wel heeft men approximatieve betrekkingen voor bepaalde eenvoudige gevallen. Mengt men bijv. twee tamelijk onverzadigde kleuren, zoals *g'* en *b'*, dan wordt het kleurpunt *M'* der mengkleur bij benadering gevonden als vierde hoekpunt van het parallelogram *Bg'b'M'* (vgl. H. E. J. Neugebauer, diss. Dresden 1935).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gelijkmatige resulterende tint. Fluorescerende pigmenten van het gebruikte systeem mag men echter niet fijn wrijven, daar dit ten koste van het lichtrendement gaat! Men moet dus, om niet te veel van het mooie effect der fluorescerende verven te verliezen, met suspensies van vrij grove korrels werken, en met het oog op het mengen van dergelijke suspensies blijken speciale voorzorgen nodig te zijn: het is gewenst de poeders vóór het aanmaken op kristalgrootte te sorteren, en alleen verven met ongeveer gelijke kristalgrootte te mengen. Laat men deze voorzorgsmaatregel achterwege, dan kan, waarschijnlijk ten gevolge van een verschillende sedimentatiesnelheid der deeltjes van verschillende grootte, bij het op het doek brengen een schiften van de mengkleur optreden.

In principe is het mogelijk deze moeilijkheid geheel te omzeilen, door fluorescerende stoffen te kiezen, resp. speciaal te bereiden, die zonder malen al de zeer fijne structuur hebben die men wenst en die men bij de normale verven aantreft (korrelgrootte bijv. 20 μ).

De invloed van het malen op het rendement, die de genoemde complicatie veroorzaakt, kan men anderzijds nuttig aanwenden om kleurvlekken, waar dit gewenst is, donkerder af te stemmen. In de normale technieken bestaat de mogelijkheid, dit te doen door bijmengen van zwart (of andere donkere kleuren), en voor een fluorescerend schilderij zou men op analoge wijze de verfsuspensie kunnen verdunnen met „zwarte", dwz. niet fluorescerende stoffen, zoals bijv. gewoon wit (!) krijt. Het temperen door keuze van een gemalen pigment geeft echter een homogenere indruk.

Tot slot nog enkele woorden over andere practische kwesties die zich in de nieuwe techniek voordoen. Ter voorkoming van fotochemische ontleding, waardoor de „lichtsterkte" van het schilderij op den duur achteruit zou gaan, is het van belang dat de kristallen goed tegen vocht worden beschermd. Het omhullen der kristallen door het bindmiddel lijnolie is hiervoor gunstig, terwijl men bovendien een deklaag van zaponlak (die eveneens voldoet aan de voorwaarde van niet te fluoresceren) op het voltooide schilderij kan spuiten. Als ondergrond is, zoals hierboven reeds werd vermeld, schilderslinnen met een wit krijtfond gebruikt (wederom niet fluorescerende materialen). Hierdoor steken bij daglicht de witte fluorescerende pigmenten slechts weinig af tegen de ondergrond en zijn de vormen van de voorstelling in het schilderij slechts zwak te zien (vgl. fig. 1*b*). De metamorfose bij het inschakelen van een ultraviolette lichtbron is dientengevolge bijzonder verrassend, maar anderzijds heeft men (behalve de beperking van de helderheidsomvang, zie boven) het nadeel dat het effect door enig op het doek vallend zichtbaar licht al spoedig wordt verzwakt. Wil men met de aanwezigheid van een zwakke zichtbare verlichting rekening houden, dan kan men beter een zwarte (dwz. ook in het daglicht zwarte) ondergrond kiezen.

Het spreekt wel van zelf dat bij het schilderen het doek uitsluitend door de kwiklamp met filter mag worden „verlicht". Het object daarentegen — als men naar de natuur schildert — moet normaal verlicht zijn. Het gescheiden houden van de verlichting voor doek en object levert voor de schilder een enigszins ongewone en practisch zeker niet altijd gemakkelijk te verwezenlijken situatie.

Het filter voor de kwiklamp onderdrukt niet alleen het zichtbare licht, maar ook het zeer kortgolvige ultraviolet, met name de sterke kwiklijn van golflengte 2537 Å. Voor het opwekken van de fluorescentie is vrijwel uitsluitend de kwiklijn bij 3650 Å aansprakelijk. Straling met deze golflengte heeft practisch geen uitwerking op de huid, zodat men, ook bij langdurig werken op het doek onder de kwiklamp, geen erytheem op de handen behoeft te vrezen.

Misschien kan het beschreven experiment en de hier medegedeelde ervaring er toe bijdragen, de leden van het edele St. Lucasgilde te stimuleren, zelf eens de mogelijkheden van de nieuwe techniek te peilen.

Samenvatting. Door een der schrijvers (J. L. H. J.) is een schilderij vervaardigd waarbij fluorescerende verven zijn toegepast. De pigmenten — acht verschillende, gekozen uit het systeem zink-cadmiumsulfide met zilver als activator — werden met lijnolie aangemaakt; als doek diende normaal schilderslinnen met een wit krijtfond; het schilderij werd afgespoten met zaponlak. Al deze hulpstoffen voldoen aan de voorwaarde dat zij geen eigen fluorescentie vertonen. Bij het bereiden van tussentinten uit twee of meer fluorescerende pigmenten heeft men te maken met additieve menging; de globale mengregels die de schilder gewend is te gebruiken en die gebaseerd zijn op subtractieve menging, gaan derhalve niet op. De in dit geval gebruikte fluorescerende poeders leverden bovendien bij het mengen een zekere moeilijkheid op, doordat zij in de vorm van vrij grove korrels moesten worden gebruikt; door malen er van zou het lichtrendement achteruit gaan. — Het artistieke belang van het schilderen met fluorescerende stoffen kan naar het inzicht van de schrijvers gelegen zijn in de grote helderheidsomvang die men hiermee kan verwezenlijken; deze is belangrijk groter dan de maximaal bereikbare in de normale schildertechnieken, zoals door metingen wordt gestaafd. Bovendien vertoont het fluorescerende schilderij ongewoon heldere verzadigde kleuren, sommige zelfs helderder dan het helderste wit — een eigenschap die daarop berust dat het rendement van de lichtomzetting voor alle gebruikte fluorescerende pigmenten ongeveer even groot is. Een grote helderheidsomvang en „stralende" kleuren treft men eveneens aan bij sommige gebrandschilderde ramen, waarmee het fluorescerende schilderij dan ook een frappante gelijkenis vertoont.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

HET METEN VAN LENGTEVERANDERINGEN MET BEHULP VAN REKSTROOKJES

door A. L. BIERMASZ en H. HOEKSTRA. 621.317.39:620.172.222

Reeds sedert tientallen jaren heeft de techniek voor het meten van electrische grootheden een voorsprong op die van het meten van andere, bijv. mechanische, grootheden, voor zover het gevoeligheid en gemak betreft. Door de ontwikkeling van versterkers, kathodestraaloscillografen e.d. is deze voorsprong nog vergroot. Het ligt dan ook voor de hand, andere gebieden der meettechniek van deze voorsprong te laten mede-profiteren door het ontwerpen van instrumenten die niet-electrische grootheden omzetten in electrische. Een voorbeeld van zulk een instrument zijn de hieronder besproken rekstrookjes, die, bij verandering van hun lengte, weerstandsveranderingen vertonen, welke electrisch kunnen worden gemeten. Voor rekstrookjes, in combinatie met een meetbrug en/of een kathodestraaloscillograaf, liggen in de techniek uitgebreide toepassingsgebieden.

Een fundamenteel vraagstuk bij het dimensioneren van iedere mechanische constructie is de spanningsverdeling die bij verschillende belastingtoestanden er in optreedt. Slechts de kennis van deze spanningsverdeling — gepaard met de nodige kennis der materiaaleigenschappen — kan leiden tot de ideale constructie, die nergens te zwak en evenmin ergens overbodig sterk is.

Nu stuit het bepalen van de spanningsverdeling langs de weg der berekening op grote moeilijkheden, indien de vormen van de constructie ingewikkeld zijn. Veelal is men dan ook aangewezen op het doen van metingen aan uitgevoerde constructies (ev. modellen). Gewoonlijk zijn metingen alleen uitvoerbaar aan het oppervlak, doch juist daar zijn in de regel de spanningen het grootst. Als maatstaf voor de spanning in bijv. een met trek belaste staaf gebruikt men de lengteverandering die de staaf ondergaat; zolang de deformatie elastisch blijft, is zij immers evenredig met de spanning. In ingewikkelder gevallen laat zich de spanning afleiden uit de in twee of drie richtingen gemeten lengteveranderingen.

Voor het verrichten van de bedoelde metingen bestaan er rekmeters, waarmee men de verandering kan bepalen die, bij variëren van de belasting, optreedt in de afstand tussen twee geschikt gekozen punten van de constructie. Om de afstandsverandering voldoende nauwkeurig te kunnen meten, wordt zij bij de mechanische en de optische rekmeters vergroot op het meetsysteem overgebracht — met behulp van een stel hefbomen, resp. langs optische weg.

Voor niet te ingewikkelde gevallen met een statische belasting zijn deze rekmeters bruikbaar te achten, doch zij laten ons volkomen in de steek bij meer gecompliceerde constructies, met slecht toegankelijke plaatsen, en ook daar, waar men rekening moet houden met (niet zeer langzame) trillingen. Noemen we als voorbeeld slechts de vliegtuigbouw, waar men aan vleugels, romp en staartvlakken, vaak op honderden plaatsen tegelijk en tijdens de vlucht, de lengtevariaties wil meten en waar bovendien op de statische belasting sterke trillingen kunnen zijn gesuperponeerd. Uitkomst bieden in zulke gevallen de zg. rekstrookjes, waarmee lengteveranderingen worden gemeten langs electrische weg, wat bovendien nog bepaalde voordelen heeft boven oudere rekmeters.

Principe en voordelen van rekstrookjes

Het is reeds lang bekend dat de electrische weerstand van een metaaldraad verandert met de mechanische spanning in de draad; Lord Kelvin beschreef dit verschijnsel al in 1856. Het vormt de grondslag van de rekstrookjes. Deze bestaan namelijk uit een draad die zodanig op het te onderzoeken constructie-onderdeel wordt vastgeplakt dat hij alle lengteveranderingen van dit laatste mede-ondergaat. De gemeten weerstandsvariaties van de draad zijn dan een maat voor de lengteveranderingen. Pas de laatste tien jaar echter zijn in verscheidene landen rekstrookjes ontwikkeld die een voldoende mate van betrouwbaarheid bezitten.

De voornaamste redenen waarom het meten met rekstrookjes zo'n grote vlucht heeft genomen, zijn de volgende:

1. De strookjes zijn maar enkele cm lang en kunnen daardoor worden aangebracht op bijna ontoegankelijke plaatsen.
2. Het eigenlijke meetinstrument is op een afstand geplaatst en kan desgewenst achtereenvolgens met een groot aantal rekstrookjes worden verbonden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

3. Men kan ook dynamische belastingen (trillingen) meten.
4. Door gebruik te maken van een oscillograaf kan men
   a) de waarnemingen fotografisch registreren,
   b) de weerstandsverandering van twee of meer rekstrookjes gelijktijdig waarnemen en registreren.

Uitvoeringsvormen, bestanddelen en gebruik van rekstrookjes

Fig. 1a is een schets van het grootste der twee typen rekstrookjes die Philips fabriceert. Het bestaat uit een zigzag gebogen weerstandsdraad van

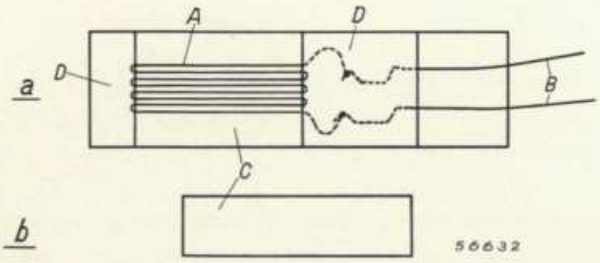


Fig. 1. *a*) Schets van het rekstrookje GM 4472. *A* = weerstandsdraad, *B* = toevoerdraden, *C* = papieren drager (ware grootte), *D* = papieren dekblaadjes. *b*) Drager van het rekstrookje GM 4473 (ware grootte).

constantaan (55% Cu, 45% Ni), die is vastgelijmd op een papieren onderlaag. Deze drager, op het te onderzoeken object geplakt, brengt de lengteveranderingen van het object getrouw op de draad over en zorgt tevens voor de electrische isolatie. Aan ieder einde van de constantaandraad is een koperen toevoerdraad gesoldeerd, die gedeeltelijk ook aan het papier is gelijmd. Door dit laatste is de dunne constantaandraad, bij eventuele trek aan de toevoerdraden, voldoende gevrijwaard tegen het overbrengen van die trek. De weerstand bedraagt 600 ohm.

Het kleinste type (GM 4473, fig. 1*b*) is op soortgelijke wijze ingericht. Het heeft 120 ohm weerstand. Door zijn kleinere afmetingen laat het zich op nog minder toegankelijke plaatsen aanbrengen dan het grotere type (GM 4472), dat echter door zijn grotere oppervlakte meer vermogen mag opnemen en daardoor nauwkeuriger metingen toelaat.

Fig. 2 toont, behalve een los exemplaar van elk der typen, de mapjes waarin de rekstrookjes per 10 stuks in de handel worden gebracht.

Wij bespreken nu eerst de voornaamste bestanddelen van een rekstrookje: de weerstandsdraad, de lijm en het papier, en vervolgens het opplakken.

De weerstandsdraad

Daar de relatieve weerstandsverandering, ook bij de grootste rek die voorkomt, slechts gering is (in de orde van 0,1%), dient men de meting te vrijwaren voor de invloed van toevallige weerstandsvariaties, die bijv. kunnen optreden in omschakelaars of in de dikwijls lange leidingen tussen het rekstrookje en de meetinrichting. Het is daarom noodzakelijk dat de weerstand van het rekstrookje ten minste in de orde van 100 ohm is. Om een dergelijke weerstand te kunnen onderbrengen in een rek-

Fig. 2. *1* = rekstrookje GM 4472, *2* = rekstrookje GM 4473; verder twee mapjes waarin de rekstrookjes in de handel worden gebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

strookje van slechs enkele cm lengte, met niet al te dunne draad, is men aangewezen op materiaal met een hoge soortelijke weerstand. Hierdoor vallen de zuivere metalen uit; blijven over: legeringen zoals constantaan en chroomnikkel, en koolstof.

In de tweede plaats wordt de keuze van het draadmateriaal bepaald door het gedrag van de ijkfactor k, d.i. de verhouding van de relatieve verandering $\Delta R/R$ van de weerstand tot de relatieve verandering $\Delta l/l$ van de lengte:

$$k = \frac{\Delta R}{R} : \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{e}.$$

($\Delta l/l = e$ heet ook de rek.) Hoe groter k is (in absolute waarde), des te hoger is de gevoeligheid van de meting, maar nog belangrijker is een lineaire betrekking tussen $\Delta R/R$ en e (dus een ijkfactor die onafhankelijk is van de grootte van de rek).

De hoge waarde van k die men vindt bij koolstof (ca 20) en die te danken is aan de veranderlijkheid van de overgangsweerstand tussen de kooldeeltjes, maakt het verleidelijk, dit materiaal in rekstrookjes

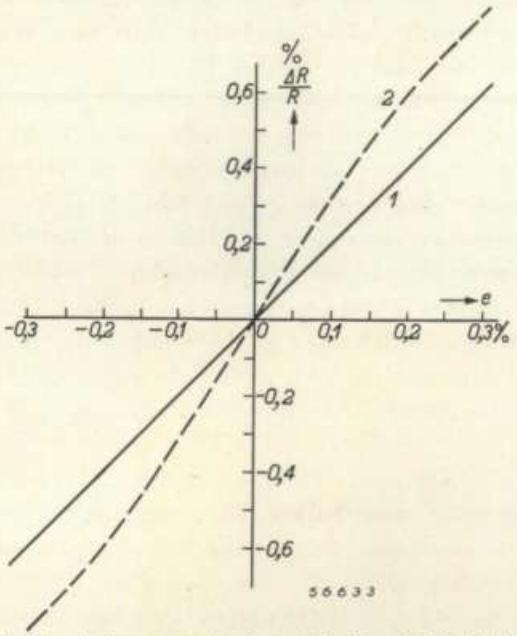


Fig. 3. De relatieve weerstandsverandering $\Delta R/R$ als functie van de rek e, (1) voor constantaan, (2) globaal verloop van een niet-lineaire betrekking, zoals optreedt bij chroomnikkel.

toe te passen [1]). De resultaten blijken echter op den duur niet voldoende reproduceerbaar te zijn. Daarom is men van kool als materiaal voor de weerstand geheel teruggekomen.

Voor constantaan wordt het verband tussen $\Delta R/R$ en e gegeven door de getrokken lijn in *fig. 3*. Dit verband is nagenoeg lineair, met $k =$ ca 2 zowel in het elastische gebied (e tussen + en — 0,2%) als daarbuiten. Bij andere legeringen met een hoge soortelijke weerstand daarentegen geldt een niet-lineaire betrekking: chroomnikkel bijv. levert een waarde van $k =$ ca 3 bij kleine rek, welke waarde in het plastische gebied daalt tot ca 2, zoals de gestippelde kromme in fig. 3 globaal aangeeft. Het niet-lineair zijn van de grafiek is in de practijk een groot nadeel. Hierom verdient constantaan de voorkeur.

De weerstand van een geleider verandert niet alleen met de rek, maar ook met de temperatuur. Wil men slechts een snel wisselende rek meten (trillingen), dan zijn langzame weerstandsveranderingen ten gevolge van temperatuurwisselingen niet storend, maar bij statische belasting kunnen zij dat wel zijn. Wij zullen straks een methode bespreken waarbij de temperatuurinvloed wordt gecompenseerd, maar niettemin is het wenselijk dat de temperatuurcoëfficient (α) van het rekstrookje zo klein mogelijk is. Ook in dit opzicht is constantaan zeer gunstig: α is in de orde van $1 \cdot 10^{-6}$, tegen ca $100 \cdot 10^{-6}$ bij chroomnikkel.

In *tabel I* zijn de besproken grootheden voor enige materialen bijeengeschreven, en wel voor constantaan, chroomnikkel, koolstof en, ter vergelijking, een zuiver metaal (ijzer).

Tabel I. Globale waarden van de soortelijke weerstand ϱ, de ijkfactor $k = (\Delta R/R) : e$ (binnen de elasticiteitsgrenzen) en de temperatuurcoëfficient α van de weerstand, van enige materialen.

Materiaal	ϱ $\mu\Omega \cdot$m	k	α 10^{-6} (°C)$^{-1}$
IJzer	0,1	—4	5000
Constantaan	0,5	2	ca 1
Chroomnikkel	1	3	100
Koolstof	70	20	—500

Op de waarde van de ijkfactor k van metalen willen wij hier wat nader ingaan.

De weerstand van een draad met diameter D is

$$R = \frac{l\,\varrho}{\frac{\pi}{4} D^2}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Bij rekken (of stuiken) van de draad verandert niet alleen l, maar nemen ook D en ϱ andere waarden aan. Wat de verandering van D betreft, geldt de betrekking van Poisson:

$$-\frac{dD}{D} : \frac{dl}{l} = \mu,$$

waarin μ voor de meeste metalen, in het elastische gebied, $\approx 0{,}30 - 0{,}35$ is. Wat ϱ betreft: bekend is dat bij alzijdig

[1]) Zie bijv. S. L. de Bruin, Het onderzoek van snel veranderende mechanische spanningen met de kathodestraaloscillograaf, Philips techn. T. 5, 26-29, 1940.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

samendrukken van een metaal ϱ verandert met de dichtheid, dus met het volume V. Voor constantaan geldt dan de lineaire betrekking

$$\frac{d\varrho}{\varrho} : \frac{dV}{V} = c, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

met $c = 1{,}13$. Met Opechowski willen wij onderstellen dat deze betrekking ook geldt bij rekken en stuiken.

Daar $V = \frac{1}{4}\pi D^2 l$, kan (1) als volgt worden geschreven:

$$R = \frac{\varrho l^2}{V}.$$

Door differentiëren volgt hieruit:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\varrho}{\varrho} + 2\frac{dl}{l} - \frac{dV}{V} = 2e + (c-1)\frac{dV}{V}. \quad . \quad (3)$$

Plastische deformatie is gekenmerkt door constantheid van het volume, zodat daar voor alle materialen geldt (ook als (2) niet opgaat):

$$\frac{dR}{R} = 2e$$

of

$$k = 2,$$

zoals men experimenteel bevestigd vindt.

Bij elastische deformatie daarentegen is

$$\frac{dV}{V} = 2\frac{dD}{D} + \frac{dl}{l} = (1-2\mu)\, e,$$

zodat (3) overgaat in

$$\frac{dR}{R} = 2e + (c-1)(1-2\mu)\, e$$

of

$$k = 2 + (c-1)(1-2\mu).$$

Voor constantaan, met $c = 1{,}13$ en $\mu = 0{,}325$, wordt dit:

$$k = 2 + 0{,}13 \cdot 0{,}35 = 2{,}05,$$

wat binnen de uitersten der gemeten waarden valt ($2{,}09 \pm 0{,}06$). We moeten hier echter aan toevoegen dat bij andere materialen de overeenstemming veel minder fraai is.

De lijm en het papier

De papieren drager en de lijm waarmee de constantaandraad op de drager en deze laatste op het te onderzoeken object worden bevestigd, moeten de deformaties van het object volledig op de draad overbrengen. De hechtkracht van de lijm moet daarom bijzonder groot zijn. Het beste voldoen celluloselijmsoorten, die bestaan uit lange moleculen met talrijke polaire atoomgroepen. Aan deze laatste is de sterke hechting te danken (zowel aan papier als aan metaal), die bovendien nagenoeg gaan nawerking („kruip") vertoont.

Nawerking is in een rekstrookje een zeer ongewenste eigenschap, daar het ondubbelzinnige verband tussen weerstandsverandering en deformatie er door verloren gaat. Zowel in de draad als in de lijm en het papier moet de nawerking dan ook gering blijven in vergelijking met andere onnauwkeurigheden van de meetmethode. Vooral wat de lijm betreft, is dit een zware eis, waaraan echter bij de Philips-rekstrookjes behoorlijk is voldaan. Bij een rek van 0,1% bijv. is de blijvende relatieve weerstandsverandering normaal kleiner dan 10^{-5}.

De lange moleculen van celluloselijm hebben de eigenschap, bij rek zich enigszins te voegen in de richting van de rek. Daardoor ontstaat een grote taaiheid van de hechtlaag. Andere lijmsoorten daarentegen worden min of meer bros, wat hier ongewenst is (bijv. polystyreen, dat bovendien minder sterk polair is dan celluloselijm).

Ten slotte moet men van de lijm een niet te lange droogtijd verlangen; wij komen hierop terug bij het bespreken van het opplakken. Het drogen gaat vlugger naarmate het papier dunner en poreuzer is; dit is bij de Philips-rekstrookjes dan ook zo dun gekozen als mogelijk is met het oog op de isolatie en op het vlak-blijven van het strookje.

Voor het opplakken van rekstrookjes brengt Philips tubes lijm in de handel (GM 4479), die tot 60 °C kan worden gebruikt.

Het opplakken

Om een goede hechting van het rekstrookje op het object te krijgen, dient men te voren het laatste plaatselijk grondig schoon te maken, eerst met schuurpapier, vervolgens met een ontvettingsmiddel, bijv. zuivere aceton. Het gereinigde oppervlak mag daarna niet meer worden aangeraakt. Men brengt er vervolgens een dunne laag lijm (GM 4479) op aan, de prepareerlaag. Als deze droog is, bedekt men een rekstrookje aan de achterzijde met een eveneens dunne laag lijm en drukt het vervolgens op de prepareerlaag, waarbij de lengterichting van het rekstrookje nauwkeurig moet samenvallen met de richting van de te meten deformatie.

Na ongeveer zes uren is de lijm voldoende droog en de hechting voldoende tot stand gekomen om ruwe metingen met het rekstrookje mogelijk te maken. Voor nauwkeurige metingen, vooral als zij van lange duur zullen zijn, moet men echter het drogen nog enige dagen voortzetten, liefst onder verwarming tot 70 °C. Ook daarna nog dient men vocht zo veel mogelijk te weren. Vocht heeft namelijk een funeste invloed op de meetresultaten, en wel door twee oorzaken: veranderlijke isolatieweerstand en veranderlijke mechanische spanning in de lijm en het papier. Wat de eerstgenoemde betreft: wenst men bijv. aan een rekstrookje van 600 ohm weerstandsveranderingen van 0,1% te meten met een nauwkeurigheid van 1%, dan moet de isolatieweerstand (parallel aan het rekstrookje), die bijv. in de orde van 1000 MΩ is, binnen 60 MΩ constant zijn.

In de tweede plaats veroorzaakt vocht plaatselijke zwelling van de lijm en de papiervezels. Zelfs in een opgeplakt rekstrookje, dat niet vrij kan uit-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zetten, treden daarbij nog zodanige deformaties op, dat er merkbare, onregelmatige weerstandsveranderingen het gevolg van zijn.

Langdurige precisiemetingen beginne men niet voordat de isolatieweerstand een waarde van 500 MΩ heeft bereikt. Het strookje moet dan worden afgesloten van de lucht, hetzij door een laag was, hetzij door een velletje rubber dat rondom het rekstrookje wordt vastgeplakt en dat een vochtabsorberende stof (silica-gel) mede insluit. Dit laatste middel is afdoende, ook bij langdurige metingen in de buitenlucht bij regenweer.

Meetapparatuur

Wij gaan nu over tot het bespreken van de apparatuur voor het meten van kleine weerstandsveranderingen. Zeer geschikt hiervoor is de brug van Wheatstone waarvan het strookje een tak vormt (G_1, *fig. 4*), hoewel in sommige gevallen, naar aanstonds zal blijken, een eenvoudiger schakeling ook goede diensten kan bewijzen. De brugschakeling echter is te prefereren als de invloed van de temperatuur moet worden uitgeschakeld. Waarin deze invloed bestaat, blijkt uit het volgende.

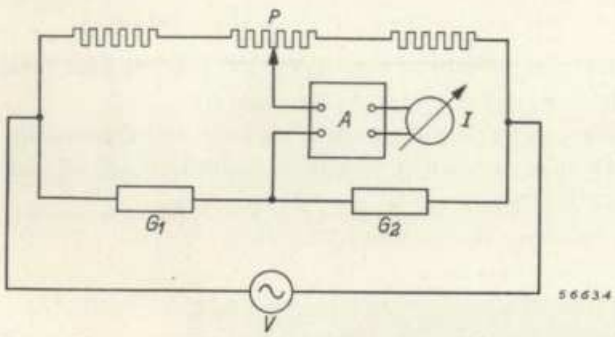


Fig. 4. Brug van Wheatstone met een actief en een compensatie-rekstrookje (G_1 en G_2). V = voedingswisselspanning, P = potentiometer voor het in evenwicht brengen van de brug, A = versterker, I = indicator.

Invloed van de temperatuur

Verandert tijdens het meten de temperatuur van het object waarop het rekstrookje is bevestigd, dan kan dit tweeërlei fouten veroorzaken:

1) de geconstateerde weerstandsverandering van het rekstrookje is ten dele te wijten aan de — zij het ook geringe — temperatuurcoëfficient van constantaan; dit gedeelte mag niet worden geïnterpreteerd als een deformatie;
2) ook bij afwezigheid van spanningen ondergaat het object deformatie, namelijk thermische uitzetting, die men in de regel niet wenst te meten, doch die wel tot uiting komt in een weerstandsverandering van het rekstrookje, dat in het algemeen een andere uitzettingscoëfficient vertoont.

Beide fouten kan men goeddeels vermijden door in de brugschakeling te werken met een compensatie-rekstrookje („dummy"). Dit is een rekstrookje van hetzelfde type als het „actieve" strookje G_1 (fig. 4); het vormt een aangrenzende tak van de brug (G_2). Men plakt het compensatiestrookje op hetzelfde materiaal als G_1, welk stuk materiaal echter niet mechanisch wordt belast, en zo dicht bij het object wordt geplaatst dat het kan worden geacht dezelfde temperatuurwisselingen te ondergaan. Het actieve en het compensatie-rekstrookje zijn dus onderworpen aan dezelfde thermische invloeden. De weerstandsveranderingen die hiervan het gevolg zijn, heffen elkaar in de brugschakeling op, zodat men alleen de weerstandsveranderingen meet welke corresponderen met mechanische spanningen in het object.

Dikwijls kan men het compensatie-rekstrookje zo aanbrengen dat het niet alleen de thermische invloed opheft, maar bovendien nog bijdraagt tot de evenwichtsverstoring van de brug, zodat de meting gevoeliger wordt. Het compensatie-rekstrookje wordt dan aangebracht op een plaats van het object die is onderworpen aan stuik als het actieve strookje rek ondergaat, of omgekeerd. Wij zullen hiervan verderop nog enige voorbeelden ontmoeten.

De twee typen meetbruggen die voor het gebruik bij rekstrookjes zijn uitgewerkt, zijn beide ingericht voor het werken met een compensatie-strookje.

Beschouwen wij nu de meetbruggen nader.

Meetbrug voor statische belasting

Voor beide meetbruggen vormt fig. 4 het principeschema. Voordat het actieve rekstrookje (G_1) wordt gedeformeerd, brengt men de brug met behulp van de potentiometer P in evenwicht, dwz. de uitslag van de indicator I op nul. Ter verhoging van de gevoeligheid is vóór de indicator een versterker opgenomen. Om deze eenvoudig te kunnen houden, wordt de brug niet met gelijkspanning gevoed, doch met wisselspanning (ontleend aan een buis-oscillator, die in het apparaat is aangebracht).

Het gebruik van wisselspanning brengt mee dat de brug ook capacitief in evenwicht moet worden gebracht. Op de voorzieningen hiervoor, die niet in fig. 4 zijn aangegeven, gaan wij hier niet in.

Deformatie van het actieve rekstrookje zal de brug uit evenwicht brengen. Men kan nu, zoals bekend, op twee manieren te werk gaan:

a) met de potentiometer P de brug opnieuw in evenwicht brengen en uit de beide standen van P de gezochte weerstandsverandering aflezen;

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

b) de uitslag van de indicator rechtstreeks als maat voor de weerstandsverandering van G_1 gebruiken.

Fig. 5. Meetbrug (GM 4571) volgens de nulmethode, voor het meten van statische belasting. *Rechts*, boven elkaar, drie knoppen voor het in evenwicht brengen van de brug. *Links*, van boven naar beneden, de indicator, de correctieknop voor de ijkfactor van het rekstrookje en de in- en uitschakelaar, tevens schakelaar waarmee de indicator kan worden gebruikt voor het controleren van de batterijen.

De meetbrug type GM 4571 (*fig. 5*) werkt volgens de onder (*a*) genoemde nulmethode. Deze heeft het voordeel dat het resultaat onafhankelijk is van de grootte der versterking, maar daar staat tegenover dat zij uiteraard is beperkt tot statische belasting.

De potentiometer is voorzien van een schaal, waarop men de rek direct kan aflezen. Om rekening te houden met het feit dat verschillende exemplaren van rekstrookjes enigszins uiteenlopende waarden van de ijkfactor k vertonen, is een correctieknop aangebracht, die men te voren dient te zetten in de stand die correspondeert met de ijkfactor van het gebruikte rekstrookje. Deze factor is vermeld op het mapje (fig. 2).

Als indicator dient een draaispoelmeter, die over seleniumventielen [2]) op de uitgang van de versterker is aangesloten en die tevens kan dienen als voltmeter voor de batterijen die de oscillator en de versterker voeden. Dank zij deze batterijen is de brug bijzonder geschikt voor het doen van metingen op plaatsen waar geen wisselstroomnet aanwezig is.

De brug is geschikt voor rekstrookjes met meer dan 100 ohm weerstand.

Meetbrug voor statische en dynamische belasting

Bij de meetbrug type GM 5536 (*fig. 6*) gaat men te werk als boven bij (*b*) aangegeven.

De brug wordt tevoren in evenwicht gebracht. Als het evenwicht wordt verstoord, geeft zij een

[2]) J. J. A. Ploos van Amstel, Kleine seleniumventielen, Philips techn. T. **9**, 267-276, 1947.

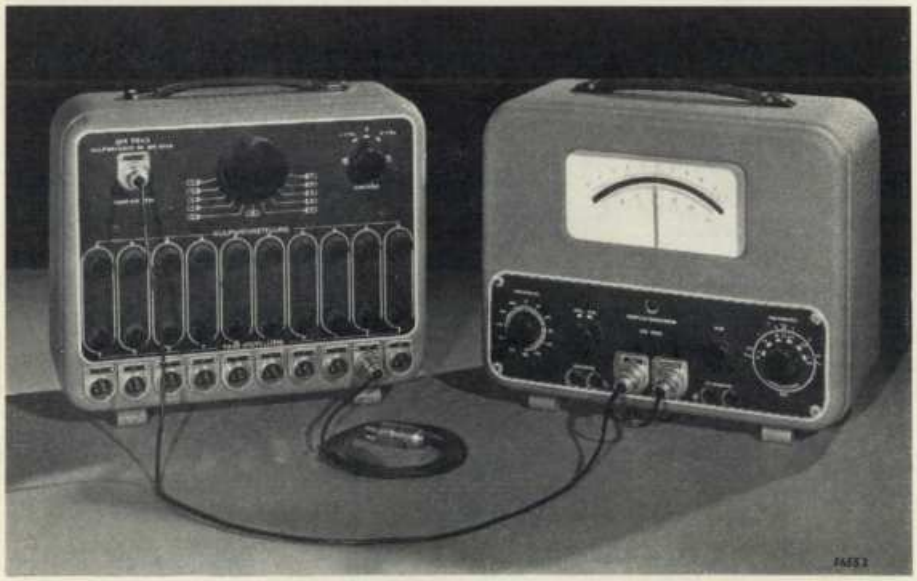


Fig. 6. *Rechts:* meetbrug (GM 5536) voor het meten van statische en van dynamische belasting. De rek is op de meter direct afleesbaar. De versterkte uitgangsspanning van de brug kan worden aangesloten op een oscillograaf. *Links:* omschakelaar (GM 5545), waarmee de brug achtereenvolgens kan worden verbonden met een willekeurig stel van 10 paren rekstrookjes.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

uitgangsspanning, die bij dynamische belasting een gemoduleerde wisselspanning is: de „draaggolf" van de oscillator die de brug voedt, is gemoduleerd met de frequenties van de mechanische trillingen. Met behulp van een ringmodulator [3]), bestaande uit vier seleniumventielen, wordt de uitgangsspanning gedemoduleerd en omgezet in een gelijkgerichte spanning, die wordt toegevoerd aan een als indicator dienende draaispoelmeter. Statische belasting is te beschouwen als een bijzonder geval van dynamische belasting, waarbij namelijk de frequentie der trillingen nul is. Zowel bij statische als bij dynamische belasting is de uitslag van de meter een maat voor de weerstandsverandering van het rekstrookje.

In plaats van de meter kan men als indicator ook een kathodestraaloscillograaf gebruiken. Daarmee kan men de trillingen zichtbaar maken en desgewenst fotografisch registreren. Om vervorming te vermijden, dient men een oscillograaf te nemen waarvan de versterker is berekend voor de zeer lage frequenties die bij mechanische trillingen kunnen voorkomen. Zulk een oscillograaf is bijv. type GM 3156 [4]), die geschikt is voor frequenties tot 1 per/sec naar beneden. De meetbrug GM 5536 is voorzien van een ijkinrichting, waarmee een bekende spanning aan de ingang van de oscillograaf kan worden toegevoerd.

Bij de meetbrug GM 5536, die bedoeld is voor rekstrookjes van 600 ohm (en eventueel hoger), behoort een omschakelaar (fig. 6), waarmee zij achtereenvolgens snel kan worden verbonden met 10 combinaties van een actief en een compensatie-rekstrookje.

Het gebruik van een kathodestraaloscillograaf opent de mogelijkheid, de weerstandsveranderingen van twee of meer rekstrookjes gelijktijdig zichtbaar te maken, zodat men tijd- en faseverschillen der trillingen kan bepalen. Hiertoe bedient men zich van een of meer electronische schakelaars [5]).

Het frequentiegebied van de trillingen die nog goed met een rekstrookje kunnen worden onderzocht, strekt zich uit tot boven de 10 000 per/sec.

Schakeling voor uitsluitend dynamische belasting

Wenst men alleen bij dynamische belasting te meten, dan heeft men met langzame variaties door temperatuurschommelingen niets te maken. Een compensatie-rekstrookje en een brugschakeling zijn dan overbodig; men kan volstaan met de eenvoudige schakeling volgens *fig. 7*, waarbij het rekstrookje over een weerstand wordt gevoed uit een batterij.

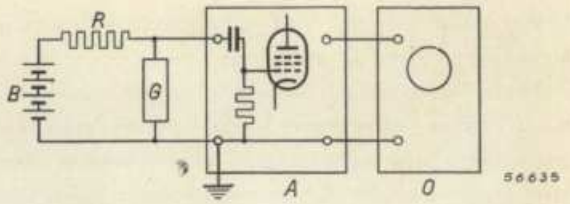


Fig. 7. Schakeling voor het meten van dynamische belasting. B = batterij (45 V), R = voorschakelweerstand, G = rekstrookje, A = voorversterker, O = oscillograaf.

Weerstandsveranderingen van het rekstrookje veroorzaken aan zijn klemmen spanningsveranderingen die over een voorversterker worden toegevoerd aan een oscillograaf.

Fig. 8. De voorversterker GM 4570, die geschikt is voor de schakeling volgens fig. 7. Versterking 4- of 20-voudig.

Als voorversterker kan dienst doen de versterker die is afgebeeld in *fig. 8*.

De uitslag op de oscillograaf kan met een vaste wisselspanning worden geijkt.

Toepassingen

De toepassingen van rekstrookjes in de techniek kunnen worden verdeeld in directe en indirecte. Onder directe toepassingen verstaan we het gebruik voor spanningsmetingen in allerlei mechanische constructies, onder indirecte het gebruik in hulpapparatuur die voor bepaalde metingen nodig is.

Directe toepassingen

Een uitgebreid toepassingsgebied van rekstrookjes ligt in het meten van spanningen in bruggen, kranen, schepen, vliegtuigen, walsbedrijven, enz. Zoals

---

[3]) Zie bijv. Philips techn. T. 7, 86, fig. 6, 1942.
[4]) S. L. de Bruin en C. Dorsman, Een kathodestraaloscillograaf voor de werktuigbouw, Philips techn. T. 5 289-297, 1940.
[5]) Zie bijv. E. E. Carpentier, Een electronische schakelaar met regelbare commuteringsfrequentie, Philips techn. T. 9, 340-346, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

werd opgemerkt in de inleiding, voert een betere kennis van de optredende spanningstoestand tot rationelere constructies, met beter verantwoorde veiligheidsmarges.

Van de vele voorbeelden waarin met succes van rekstrookjes is gebruik gemaakt, willen wij er slechts een drietal aanhalen.

In de eerste plaats metingen aan de wand van een schip tijdens het te water laten, waarbij een zeer ingewikkelde spanningstoestand kan optreden. Om de spanningsverandering in een bepaald punt van de scheepswand te meten, plakt men daar drie rekstrookjes vlak bij elkaar, onder hoeken van 120°. Uit de weerstandsvariaties der drie strookjes kan de spanningstoestand ter plaatse op eenvoudige wijze worden berekend.

Een tweede voorbeeld is het meten van het torsiekoppel in een as. Hiertoe plakt men op de as twee rekstrookjes, die onderling een hoek van 90° maken en de hartlijn van de as onder hoeken van 45° kruisen (*fig. 9*). Bij torsie wordt het ene strookje gerekt, het andere gestuikt. Uit de weerstandsveranderingen kan men het torsiekoppel berekenen.

Als derde voorbeeld toont *fig. 10* de opstelling voor een meting die werd uitgevoerd in samenwerking met de Nederlandse Spoorwegen. Hier werd onderzocht welke spanningen optreden in een der palen die de electrische bovenleiding dragen, als deze leiding (of de draagkabel waaraan ze is opgehangen) breekt. Op bepaalde punten van de paal werden rekstrookjes geplakt, die konden worden verbonden met een meetbrug GM 5536 (fig. 6). Bij doorknippen van de rijdraad ontstaan trillingen, die de uitgangsspanning van de brug moduleren,

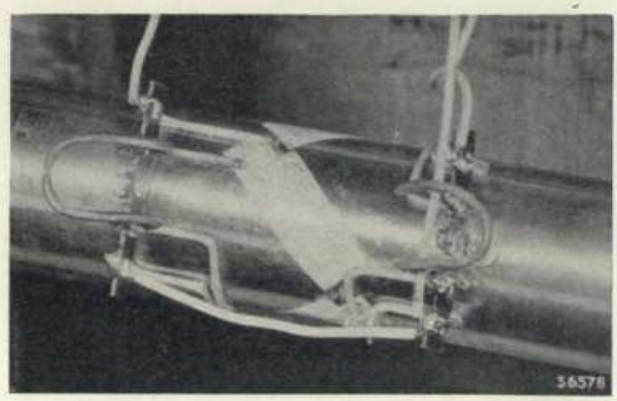
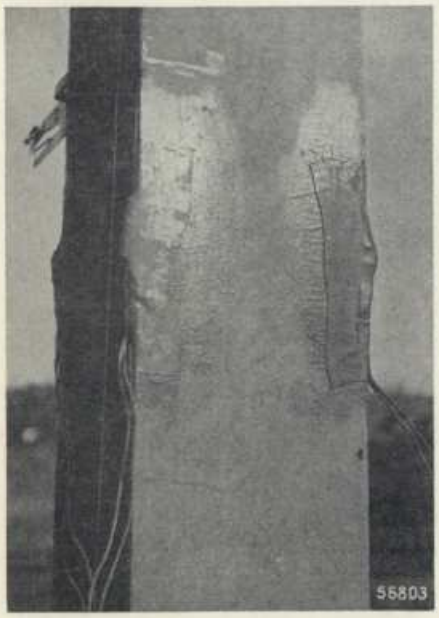
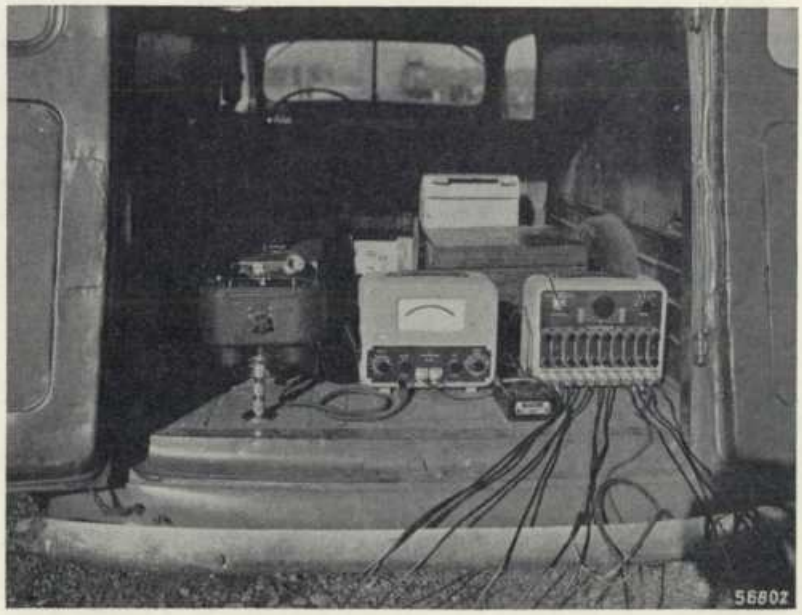


Fig. 9. Torsietrillingen in een as kunnen worden gemeten met twee rekstrookjes die loodrecht op elkaar staan en de hartlijn van de as onder 45° kruisen. (Bij de hier afgebeelde proef werden vier rekstrookjes gebruikt, die twee aan twee waren parallelgeschakeld.)





a *b*

Fig. 10. *a*) Paal van de bovenleiding van een electrische spoorweg, met vier rekstrookjes en een meetbrug GM 4571 voor het meten van de statische belastingsverandering die in de paal optreedt bij breuk van de rijdraad. Twee van de rekstrookjes die lengteveranderingen met onderling tegengesteld teken ondergaan, vormen bij het meten een paar. Zij ondersteunen elkaar wat betreft de te meten rek, maar compenseren onderling de invloed van temperatuurwisselingen. Voor het weren van vocht zijn de rekstrookjes overplakt met een velletje rubber, dat een hoeveelheid silica-gel insluit.
b) Voor het meten van trillingen konden de op de paal geplakte rekstrookjes ook worden verbonden met een meetbrug voor dynamische belasting. In de auto ziet men, van rechts naar links: de meetbrug (GM 5536), de omschakelaar (GM 5545) en de oscillograaf met de er vóór bevestigde camera.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zoals het oscillogram *fig. 11* laat zien. Uit de gemeten amplitude kon worden afgeleid dat ter plaatse van het rekstrookje spanningen tot 600 kg/cm² optraden. Voor verdere bijzonderheden zij verwezen naar het onderschrift van fig. 11.

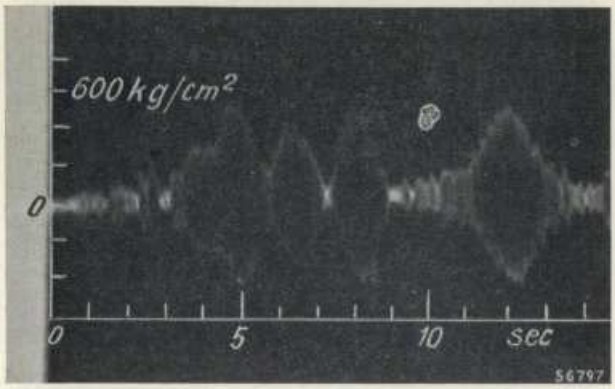


Fig. 11. Oscillogram (gemaakt met de in fig. 10*b* afgebeelde apparatuur) van de spanning die in de paal optreedt als de rijdraad dicht bij de paal wordt doorgeknipt. Het breken veroorzaakt trillingen, die zich voortplanten over de rijdraad en de draagkabel en die in volgende ophangpunten gedeeltelijk worden gereflecteerd. Van de interferenties die hierdoor ontstaan, geeft bovenstaand oscillogram een beeld. De hoogste top komt overeen met een spanning van ca 600 kg/cm², ter plaatse van de rekstrookjes.

Indirecte toepassingen

Ook bij de indirecte toepassingen van rekstrookjes zullen wij ons beperken tot enkele voorbeelden.

De tot dusverre gebruikelijke grondwaterdruk- en gronddrukmeters hebben o.a. het bezwaar van een lange insteltijd en vaak ook van een geringe nauwkeurigheid. Het gebruik van rekstrookjes kan hierin aanzienlijke verbetering brengen. De grond- of waterdruk wordt dan overgebracht op een membraan waarop een rekstrookje is geplakt. De druk, waarvoor de doorbuiging een maat is, kan rechtstreeks afleesbaar worden gemaakt, zonder merkbare traagheid en met grote nauwkeurigheid.

In *fig. 12* is een dynamometer afgebeeld waarmee krachten van 1 tot 10 ton nauwkeurig kunnen worden gemeten. De te meten kracht wordt hierbij overgebracht op een stalen ring, waarop rekstrookjes zijn aangebracht voor het bepalen van de rek. Een ijktabel geeft de kracht als functie van de gemeten rek.

Als laatste voorbeeld vermelden wij nog een geheel ander gebied van toepassingen, namelijk de physiologie, waar rekstrookjes worden gebruikt om de hartslag, de ademhaling e.d. oscillografisch op te nemen [6]).

[6]) Zie bijv. H. R. Bierman, A device for measuring physiologic phenomena, using the bonded electrical wire resistance strain gauge, Rev. Sci. Instr. **19**, 707-710, 1948 (No. 10).

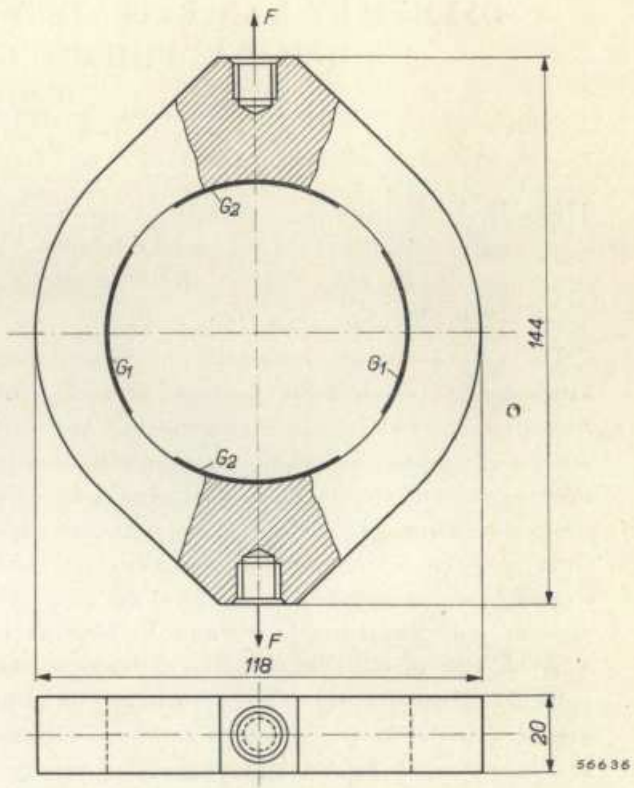


Fig. 12. Dynamometer (krachtmeter), bestaande uit een stalen ring, die door de te meten kracht F wordt belast op trek of druk. De vervorming van de ring is een maat voor de kracht. Zij wordt gemeten door de twee actieve rekstrookjes G_1. De strookjes G_2 zorgen voor temperatuurcompensatie en werken ook nog enigszins actief mede, daar hun lengte in tegengestelde zin verandert als die van G_1. Maten in mm.

Samenvatting. Rekstrookjes vormen een steeds meer gebruikt hulpmiddel voor het bepalen van lengteveranderingen. In hun tegenwoordige vorm bestaan zij uit een zigzag gebogen metaaldraad, die op een papieren drager is gelijmd. De twee typen die Philips fabriceert, zijn 5,5 en 3 cm lang (GM 4472, 600 ohm, resp. GM 4473, 120 ohm). De draad is van constantaan, waarvan de verhouding van de weerstandsverandering tot de rek, de ijkfactor k, constant is (ca 2,1). De lijm waarmee de draad op de drager, en deze op het werkstuk wordt geplakt, is een sterk polaire celluloselijm met grote hechtkracht en weinig nawerking. Deze lijm is in tubes in de handel. — Besproken worden twee meetbruggen voor het bepalen van de weerstandsveranderingen: de ene alleen voor statische, de andere ook voor dynamische belasting (trillingen). Beide zijn ingericht voor het gebruik van een tweede, zg. compensatie-rekstrookje, voor het opheffen van de temperatuurinvloed. Dit laatste is overbodig bij meten van uitsluitend trillingen; men kan dan volstaan met één rekstrookje, een voorversterker en een oscillograaf. Het frequentiegebied der trillingen die een rekstrookje nog goed kan volgen, strekt zich uit tot boven 10 000 per/sec. — Tot slot worden een aantal toepassingen besproken, zowel indirecte (in krachtmeters, drukmeters, e.d.), als directe, voor het bepalen van de mechanische spanningstoestand in allerlei constructie-onderdelen, in het bijzonder in zulke waar de aanwezigheid van trillingen of de slechte toegankelijkheid andere meetmethoden uitsluiten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voorzover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Laboratorium voor Wetenschappelijk Onderzoek, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

1793: H. B. G. Casimir and D. Polder: The influence of retardation on the London-Van der Waals forces (Phys. Rev. **73**, 360-372, 1948, No. 4).

De invloed van de retardatie op de wisselwerkingsenergie tussen twee neutrale atomen wordt quantum-electrodynamisch onderzocht. Als eerste stap wordt de wisselwerking onderzocht tussen één neutraal atoom en een volmaakt geleidende wand. Gevonden wordt, dat de invloed van de retardatie leidt tot een vermenigvuldiging van de wisselwerkingsenergie met een factor <1, die monotoon afneemt met toenemende afstand R. Deze factor is gelijk aan de eenheid, als $R \ll \lambda$, waarin λ een golflengte voorstelt die beantwoordt aan de in het atoom optredende frequenties en evenredig is met R^{-1} voor $R \gg \lambda$. In het laatste geval is de wisselwerkingsenergie gelijk aan $-3hc\alpha/16\pi^2R^4$ (h = constante van Planck, c = lichtsnelheid, α = polariseerbaarheid van het atoom). Voor twee atomen wordt, voor $R \gg \lambda$, een wisselwerkingsenergie $-23hc\alpha_1\alpha_2/8\pi^2R^7$ gevonden.

1794: F. A. Kröger and J. E. Hellingman: The blue luminescence of zinc sulfide (J. Electrochem. Soc. **93**, 156-171, 1948, No. 5).

Aangetoond wordt, dat de ionen Cl^-, Br^- en J^- een essentiële rol spelen bij de vorming van de „blauwe" centra van de fosforen ZnS-Ag, ZnS-Zn en ZnS-Cu. Aangenomen wordt, dat de centra zijn Zn^+Cl^-, Ag^+Cl^- en Cu^+Cl^- (en de overeenkomstige bromiden en jodiden) en dat zij normale Zn- en S-plaatsen in het ZnS-rooster bezetten. De spectrale verdeling van de fluorescentie is dezelfde voor centra met Cl^- en Br^- ionen; Ag, Zn en Cu veroorzaken banden van iets verschillende golflengte. Een verschil, wat betreft de plaats van de piek, tussen wurtziet en sfaleriet wordt verklaard uit een verschil in afstand tussen het bovenste bezette niveau en het onderste onbezette niveau van het grondmateriaal.

1795: A. H. W. Aten Jr., C. J. Dippel, K. J. Keuning and J. van Dreven: Denaturation and optical rotation of proteins (J. Colloid Sci. **3**, 65-66, 1948, No. 1).

Vrij algemeen neemt men aan, dat de denaturatie van eiwitten bestaat in een losmaken van de natuurlijke configuratie, gevolgd door een opnieuw „opvouwen" tot een minder regelmatig patroon. Deze denaturatie is in sommige gevallen omkeerbaar. Echter keren niet alle karakteristieke grootheden van het geregenereerde product tot hun oorspronkelijke waarde terug. De schrijvers onderzochten de draaiing van het polarisatievlak in oplossingen van geregenereerd seralbumine. Binnen de nauwkeurigheid van het experiment (3°) werd geen verschil gevonden tussen de draaiing van natuurlijk en geregenereerd seralbumine.

1796: J. L. Snoek and J. F. Fast: Metastable states of nickel characterized by a high initial permeability (Nature, London, **161**, 887, 1948, 5 Juni).

In handboeken wordt gewoonlijk stilzwijgend ondersteld dat de aanvangspermeabiliteit μ^0 van een ferromagnetisch materiaal dat niet onderhevig is aan ordening, ouderen of allotrope omzettingen, een eenduidige functie is van de temperatuur. In afwijking hiervan vonden de schrijvers voor nikkel dat de temperatuurkromme van μ^0 bij toenemende temperatuur opgenomen, merkbaar afwijkt van die verkregen bij dalende temperatuur. Zacht tikken op of ontmagnetiseren van het onderzochte monster brengt μ^0 terug tot waarden die — hoewel onderling verschillend — onafhankelijk zijn van de voorafgaande warmtebehandeling.

1797: L. J. Dijkstra and J. L. Snoek: Effect of lattice distortions on the mean rate of propagation of large Barkhausen discontinuities (Nature, London **161**, 886, 1948, 5 Juni).

De proeven van Sixtus en Tonks over de voortplanting van grote Barkhausen-sprongen zijn met behulp van iets meer verfijnde methoden herhaald en uitgebreid. De betrekking $V = A(H-H_0)$ tussen de gemiddelde voortplantingssnelheid V en het uitwendige veld H (A en H_0 zijn constanten) werd in alle onderzochte gevallen nauwkeurig bevestigd. Proeven met een legering 60 Ni - 40 Fe bewezen dat A zeer gevoelig is voor roosterstoringen. Proeven bij diverse temperaturen (93 °K - 380 °K) wezen uit, dat A/R (R = weerstand) practisch onafhankelijk is van de temperatuur.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!